RÉSULTATS

DES

CAMPAGNES SCIENTIFIQUES

DU

PRINCE DE MONACO

Ce Fascicule a été publié et le dépôt fait au Gouvernement à Monaco

le 20 mai 1939

LIBRARY
FISH & WILDLIFE SERVICE
PACIFIC OCEANIC FISHERY
INVESTIGATIONS

RÉSULTATS

DES

CAMPAGNES SCIENTIFIQUES

ACCOMPLIES SUR SON YACHT

PAR

ALBERT Ier

PRINCE SOUVERAIN DE MONACO

PUBLIÉS SOUS SA DIRECTION

AVEC LE CONCOURS DE

M. JULES RICHARD

Docteur ès-sciences, chargé des Travaux zoologiques à bord

FASCICULE CI

Recherches d'océanographie physique et chimique faites pendant les Croisières du Prince Albert Ier de Monaco

Par DIVERS AUTEURS

AVEC DEUX PLANCHES DONT UNE DOUBLE, TROIS GRAPHIQUES ET UNE CARTE

IMPRIMERIE DE MONACO

1939

RECHERCHES
D'OCÉANOGRAPHIE PHYSIQUE ET CHIMIQUE

FAITES

PENDANT LES CROISIÈRES DU PRINCE ALBERT Ier DE MONACO

PAR

DIVERS AUTEURS

RECHERCHES D'OCÉANOGRAPHIE PHYSIQUE ET CHIMIQUE

FAITES

PENDANT LES CROISIÈRES DU PRINCE ALBERT Ier DE MONACO

PAR

DIVERS AUTEURS

INTRODUCTION

Comme je l'ai déjà fait pour d'autres sujets, je réunis sous ce titre général un certain nombre d'ouvrages, le plus souvent de peu d'étendue, et qu'il est nécessaire d'insérer dans les Résultats des Campagnes scientifiques du Prince Albert pour que cette publication soit aussi complète que possible.

Dans les croisières il n'est pas facile de suivre un programme déterminé à l'avance. C'est la mer qui commande. Souvent on ne trouve pas le sujet sur lequel on comptait faire porter ses recherches, alors que des sujets imprévus se présentent, pleins d'intérêt, et pour lesquels on n'est pas préparé. On les recherche souvent en vain dans la suite, pour compléter leur étude. De là des travaux épars, plus ou moins incomplets, comme plusieurs de ceux qui sont rassemblés dans le présent fascicule.

Il m'a paru intéressant de publier in-extenso le mémoire de M. W. Ekman sur la compressibilité de l'eau de mer. Je remercie vivement l'éminent océanographe d'avoir bien voulu revoir la traduction de son travail et de l'avoir mis au point.

Je demande l'indulgence du lecteur pour les trois planches de graphiques. Les originaux n'ayant pu être retrouvés on a dû faire la reproduction d'après un tirage ancien, ce qui, à mon grand regret, n'a pas donné un résultat aussi beau que je le désirais.

Jules Richard.

Analyses des échantillons d'eau de mer recueillis pendant la Campagne du yacht PRINCESSE ALICE en 1904 *

Par G. H. ALLEMANDET

Ces analyses ont été exécutées par deux méthodes différentes :

1° La méthode scientifique rigoureuse, exposée par M. Thoulet [1], qui consiste à prendre la densité à 0° au moyen du pycnomètre, à doser les halogènes en bloc en exprimant les résultats en chlore par kilogramme, à déterminer ensuite la totalité des sulfates par précipitation à l'état de $BaSO_4$, les résultats étant exprimés en SO_3 par kilogramme d'eau [2].

2° La méthode de Knudsen, adoptée par le congrès des Assistants hydrographes à Copenhague en 1904 [3], basée sur la titration du chlore par une liqueur convenable de $AgNO_3$, comparativement à une eau normale filtrée et analysée avec le plus grand soin au laboratoire central de Christiania. La comparaison des deux titrages se fait au moyen des « *Hydrographische Tabellen* » de Knudsen, à qui je suis heureux d'adresser ici mes sincères remerciements pour l'amabilité avec laquelle il a bien voulu m'envoyer les quelques flacons d'eau normale nécessaire à mes analyses.

La confrontation de ces deux méthodes était intéressante, surtout après les récents mémoires de MM. Thoulet [4] et Chevallier [5] sur cette question.

Mes résultats sont à ce sujet très nets, du moins en ce qui concerne le rapport entre la chloruration et la densité à 0°.

Mes pycnomètres me permettaient une approximation de 4 unités de la cinquième décimale dans l'évaluation de la densité à 0°, et deux titrages de chlore d'une même eau ne m'ont jamais donné entre eux de différences supérieures à 0,03. Je restais donc au point de vue expérimental dans les limites permises par le Congrès.

Dans le tableau qui va suivre, je représente :

Par σ_4^0, la densité à 0°, en prenant comme base l'eau distillée à 4° C.

Par σ_4^θ, la densité à la température *in situ* θ, calculée sur les courbes de dilatation de l'eau de mer, de M. Thoulet.

Par $_n\sigma_4^\theta$, la densité *in situ*, en tenant compte du coefficient de compression correspondant à la profondeur n à laquelle l'eau a été puisée [6].

* Bull. Mus. Océan. Monaco, 10 août 1905.

[1] J. THOULET. Résultats des Campagnes Scientifiques de S. A. S. le Prince de Monaco, fasc. XXII (1902).

[2] Mes calculs ont été faits d'après les nouveaux poids atomiques adoptés par le Congrès international de Chimie appliquée de Berlin en 1903.

[3] L. G. SABROU. Bulletin n° 22 du Musée Océanographique de Monaco (1904).

[4] J. THOULET. Résultats des Campagnes Scientifiques de S. A. S. le Prince de Monaco, fasc. XXIX (1905).

[5] CHEVALLIER. Bulletin n° 31 du Musée Océanographique de Monaco (1905).

[6] J. THOULET. Océanographie Statique (1890) p. 361.

La densité à 0° trouvée par la méthode Knudsen est légèrement supérieure à celle trouvée par le pycnomètre. Les différences varient entre 0 et + 0,0001. Étant donné le degré de précision de mes expériences, on peut admettre entre les deux méthodes une différence moyenne de 0,00005, constante pour toute la série d'échantillons qui m'ont été soumis.

Ceci tendrait à prouver que les eaux de l'Océan et des mers du Nord n'ont pas tout à fait la même composition chimique centésimale, les eaux des mers du Nord ayant, à densité égale, une teneur en chlore légèrement inférieure à celle des eaux de l'Océan.

Le faible volume de chaque échantillon ne m'a pas permis d'en faire l'analyse complète, qui aurait vraisemblablement confirmé mes conclusions.

L'ammoniaque, la matière organique et les gaz dissous n'ont pas été dosés ; les précautions spéciales nécessaires à leur détermination n'ont pas été prises pour la récoltes des échantillons.

Nota. — L'analyse des échantillons marqués d'un astérisque (*) a été exécutée par M. L. G. Sabrou.

Résultats numériques des analyses d'eau de mer de la Campagne de 1904

Numéro de station	Date	Localité — Latitude	Localité — Longit. (Greenwich)	Profondeur en mètres	Température en degrés C.	Méthode de M. Thoulet — σ_4^0	σ_4^θ	$n\,\sigma_4^\theta$	Halogènes	SO_3	Méthode de M. Knudsen — σ_4^0	Cl.	Salinité
1731	6 août	28° 07' 40" N.	17° 59' 30" W.	Surface	23.4	1.02950	1.02513	1.02513	20.39	2.3039	1.02953	20.34	36.74
—	—	—	—	730	9.5	2854	2746	3096	19.69	2.2306	2856	19.67	35.53
1733	—	28° 38' N.	17° 59' 45" W.	Surface	23.4	2951	2514	2514	20.40	2.2530	2953	20.34	36.74
—	—	—	—	1000	8	2845	2761	3240	19.72	2.2478	2857	19.68	35.55
1743	8 août	29° 00' N.	18° 04' 30" W.	Surface	22	2951	2554	2554	20.39	2.3014	2953	20.34	36.74
—	—	—	—	3455	3	2894	2871	4528	19.90	2.3130	2895	19.94	36.02
1756	11 août	29° 05' N.	16° 58' W.	Surface	23.3	2963	2529	2529	20.46	2.3516	2962	20.40	36.85
—	—	—	—	3825	2.4	2783	2767	4599	19.21	2.2022	2783	19.17	34.63
1759	12 août	29° 16' N.	16° 11' W.	Surface	23.3	2951	2517	2517	20.39	2.3197	2955	20.35	36.76
—	—	—	—	3670	2.4	2807	2791	4549	19.42	2.1937	2812	19.37	34.99
1767	17 août	27° 43' N.	18° 28' W.	Surface	23.2	2956	2525	2525	20.41	2.2974	2956	20.36	36.78
—	—	—	—	3817	2.3	2808	2792	4622	19.41	2.1813	2812	19.37	34.99
1779	20 août	31° 05' N.	24° 06' W.	Surface	25.4	2960	2462	2462	20.47	2.3162	2963	20.41	36.87
—	—	—	—	5413	2.5	2802	2785	5273	19.40	2.1930	2806	19.33	34.92
1782	21 août	31° 06' N.	24° 06' 30" W.	Surface	25.2	2927	2437	2437	20.29	2.2978	2940	20.25	36.58
—	—	—	—	Surface	25.5	2953	2453	2453	20.43	2.3078	2962	20.40	36.85
—	—	—	—	25	21.1	2929	2559	2571	20.21	2.2811	2929	20.17	36.44
—	—	—	—	50	18.9	2920	2609	2633	20.12	2.2836	2924	20.14	36.38
—	—	—	—	100	16.5	2916	2661	2707	20.14	2.2681	2918	20.10	36.31
—	—	—	—	150	16	2906	2666	2738	20.05	2.2834	2904	20.00	36.13
—	—	—	—	200	15	2942	2722	2818	20.33	2.2919	2947	20.30	36.67
—	—	—	—	500	13.5	2870	2686	2925	19.85	2.2248	2872	19.78	35.73
—	—	—	—	1000	8	2859	2775	3254	19.74	2.2304	2860	19.70	35.59
—	—	—	—	1500	6.1	2841	2784	3503	19.65	2.2203	2846	19.60	35.41
—	—	—	—	2000	4	2828	2796	3754	19.53	2.2208	2831	19.49	35.21
—	—	—	—	2500	3	2802	2780	3977	19.42	2.2014	2811	19.36	34.97
—	—	—	—	3000	3.3	2804	2779	4216	19.40	2.2054	2812	19.37	34.99
—	—	—	—	3500	2.8	2806	2786	4462	19.41	2.1951	2812	19.37	34.99

NUMÉRO de STATION	DATE	LOCALITÉ		PROFONDEUR en MÈTRES	TEMPÉRATURE en degrés C.	MÉTHODE DE M. THOULET					MÉTHODE DE M. KNUDSEN		
		LATITUDE	LONGIT. (Greenwich)			σ_4^0	σ_4^θ	$n\,\sigma_4^\theta$	HALOGÈNES	SO_3	σ_4^0	Cl.	SALINITÉ
1782	21 août	31° 06' N.	24° 06' 30" W.	4000	2.8	1.02802	1.02782	1.04698	19.40	2.2053	1.02809	19.35	34.96
—	—	—	—	4500	2.4	2799	2782	4938	19.40	2.2004	2809	19.35	34.96
—	—	—	—	5000	2.6	2810	2791	5187	19.44	2.1936	2815	19 39	35.03
1793	25 août	31° 46' N.	25° 02' W.	Surface	25	2967	2482	2482	20.47	2.3154	2966	20.43	36.91
1795	—	—	25° 01' W.	Surface	25.1	2967	2479	2479	20.47	2.3500	2965	20.42	36.89
—	—	—	—	25	24	2969	2514	2527	20.48	2.3569	2968	20.44	36.92
—	—	—	—	50	20.9	2946	2580	2604	20.37	2.3318	2952	20.33	36.73
—	—	—	—	100	17.9	2927	2639	2685	20.31	2.3106	2940	20.25	36.58
—	—	—	—	150	17	2923	2658	2730	20.26	2.3124	2936	20.22	36.53
—	—	—	—	200	17	2908	2644	2840	20.19	2.3021	2923	20.13	36.36
—	—	—	—	500	12	2866	2712	2951	19.81	2.2740	2870	19.77	35.71
—	—	—	—	1000	8.8	2857	2769	3248	19.74	2.2679	2859	19.69	35.57
—	—	—	—	1500	6.2	2851	2792	3511	19.68	2.1777	2853	19.65	35.50
—	—	—	—	2000	4.2	2819	2785	3743	19.52	2.1983	2827	19.47	35.17
—	—	—	—	2500	3.6	2814	2786	3983	19.45	2.2039	2816	19.40	35.05
—	—	—	—	3000	3	2811	2789	4226	19.43	2.1819	2815	19.39	35.03
—	—	—	—	4000	2.5	2804	2787	4703	19.39	2.1968	2811	19.36	34.97
—	—	—	—	4500	5.5	2813	2764	4920	19.42	2.2153	2814	19 38	35.01
—	—	—	—	5000	3.5	2807	2780	5176	19.39	2.2081	2809	19.35	34.96
—	—	—	—	5423	3	2812	2790	5390	19.44	2.1780	2815	19.39	35.03
1798	26 août	32° 18' N.	23° 58' W.	Surface	25.6	2950	2446	2446	20.38	2.3128	2949	20.31	36.69
—	—	—	—	25	22.8	2939	2519	2531	20.32	2.3133	2942	20.26	36 60
—	—	—	—	50	19.4	2923	2599	2623	20.22	2.3025	2927	20.16	36.42
—	—	—	—	100	17.8	2927	2642	2690	20.23	2.2958	2929	20.17	36.44
—	—	—	—	150	17.5	2920	2642	2714	20.18	2.3058	2926	20.15	36.40
—	—	—	—	200	17	2925	2660	2755	20.19	2.2862	2927	20.16	36.42
—	—	—	—	500	12.8	2869	2699	2938	19.84	2.2685	2873	19.79	35.75
—	—	—	—	1000	9.5	2855	2748	3227	19.76	2.2324	2863	19.72	35.62

NUMÉRO de STATION	DATE	LOCALITÉ		PROFONDEUR en MÈTRES	TEMPÉRATURE en degrés C.	MÉTHODE DE M. THOULET					MÉTHODE DE M. KNUDSEN		
		LATITUDE	LONGIT. (Greenwich)			σ_4^0	σ_4^θ	$n\,\sigma_4^\theta$	HALOGÈNES	SO_3	σ_4^0	Cl.	SALINITÉ
1798	26 août	32° 18' N.	23° 58' W.	1500	6.5	1.02847	1.02784	1.03502	19.73	2.2317	1.02856	19.67	35.53
—	—	—	—	2000	4.8	2828	2787	3745	19.59	2.2138	2832	19 51	35.25
—	—	—	—	2500	3.9	2811	2780	3977	19.49	2.1866	2818	19.41	35.07
—	—	—	—	3000	3.4	2817	2791	4228	19.44	2.2086	2815	19.39	35.03
—	—	—	—	3500	3	2802	2780	4456	19.43	2.2030	2811	19.36	34.97
—	—	—	—	4000	2.8	2802	2782	4698	19.41	2.1934	2811	19.36	34.97
—	—	—	—	5000	2.7	2800	2779	5175	19.41	2.1855	2809	19.35	34.96
—	—	—	—	5422	3	2806	2782	5378	19.40	2.1913	2812	19.37	34.99
1803	27 août	33° 06' N.	25° 07' W.	Surface	24.8	2942	2469	2469	20.34	2.2469	2945	20.28	36.64
—	—	—	—	25	24.8	2940	2467	2479	20.34	2.3142	2942	20.26	36.60
—	—	—	—	50	24.5	2924	2456	2480	20.23	2.3378	2929	20.17	36.44
—	—	—	—	100	18.4	2929	2630	2678	20.25	2.3095	2931	20.19	36.47
—	—	—	—	150	17.6	2925	2647	2719	20.22	2.2919	2929	20.17	36.44
—	—	—	—	200	16.8	2914	2658	2754	20.16	2.2910	2921	20.12	36.35
—	—	—	—	500	12.8	2871	2702	2941	19.83	2.2277	2873	19.79	35.75
—	—	—	—	1000	9.5	2859	2744	3223	19.80	2.2296	2864	19 73	35.64
—	—	—	—	1500	6.8	2854	2782	3500	19.72	2.2290	2856	19.67	35.53
—	—	—	—	2000	4.8	2821	2779	3737	19.54	2.2283	2830	19.49	35.21
—	—	—	—	2500	3.8	2811	2779	3977	19.47	2.2283	2818	19.41	35.07
—	—	—	—	3000	3	2812	2783	4220	19.45	2.2104	2819	19.42	35.08
—	—	—	—	3500	2.8	2802	2782	4458	19.41	2.2068	2811	19.36	34.97
—	—	—	—	4000	2.8	2810	2790	4706	19.45	2.2005	2816	19.40	35.05
—	—	—	—	4904	3	2803	2779	5156	19.40	2.1914	2811	19.36	34.97
1811	29 août	38° 20' N.	28° 19' W.	Surface	21.6	2887	2510	2510	20.01	2.2460	2898	19.96	36.06
—	—	—	—	1400	6.6	2832	2769	3439	19.58	2.2203	2832	19.51	35.25
1824	6 septembre	37° 26' N.	25° 40' 30" W.	Surface	22.4	2900	2497	2497	20.07	2.2797	2905	20.01	36.15
—	—	—	—	690	10.7	2859	2727	3057	19.76	2.2416	2863	19.72	35.62

NUMÉRO de STATION	DATE	LOCALITÉ		PROFONDEUR en MÈTRES	TEMPÉRATURE en degrés C.	MÉTHODE DE M. THOULET					MÉTHODE DE M. KNUDSEN		
		LATITUDE	LONGIT. (Greenwich)			σ_4^0	σ_4^θ	$n\,\sigma_4^\theta$	HALOGÈNES	SO_3	σ_4^0	Cl.	SALINITÉ
1825	6 septembre	37° 23' 30" N.	25° 41' W.	Surface	22.5	1.02910	1.02503	1.12503	20.13	2.2492	1.02915	20.08	36.27
—	—	—	—	650	10.9	2864	2730	3041	19.76	2.2416	2862	19.71	35.61
1840	7 septembre	37° 18' N.	27° 43' W.	Surface	22	2910	2521	2521	20.12	2.2892	2915	20.08	36.27
—	—	—	—	2366	4	2810	2777	3910	19.44	2.1904	2816	19.40	35.05
1842	—	37° 13' N.	28° 06' W.	Surface	22.8	2910	2496	2496	20.13	2.2418	2915	20.08	36.27
—	—	—	—	2220	4	2815	2782	3845	19.48	2.1807	2819	19.42	35.08
1843	—	37° 08' N.	28° 28' 30" W.	Surface	22.8	2903	2489	2489	20.10	2.2841	2912	20.06	36.24
—	—	—	—	2815	3.5	2811	2784	4133	19.45	2.2084	2815	19.39	35.03
1848	8 septembre	36° 17' N.	28° 53' W.	Surface	22.1	2901	2505	2505	20.10	2.2726	2911	20.05	36.22
—	—	—	—	3410	3.3	2807	2781	4415	19.42	2.2020	2815	19.39	35.03
1852	—	36° 25' 30" N.	28° 16' W.	Surface	22.8	2908	2494	2494	20.12	2.2628	2914	20.07	36.26
—	—	—	—	3076	3.5	2814	2787	4261	19.46	2.1929	2818	19.41	35.07
1853	9 septembre	36° 40' N.	27° 12' W.	Surface	23.2	2912	2487	2487	20.16	2.2817	2923	20.13	36.36
—	—	—	—	3024	3.5	2804	2777	4226	19.42	2.2093	2812	19.37	34.99
1855	—	36° 46' N.	26° 41' W.	Surface	23.7	2914	2471	2471	20.17	2.3005	2924	20.14	36.38
—	—	—	—	3620	3.2	2810	2785	4519	19.44	2.2103	2816	19.40	35.05
1859	—	36° 51' N.	26° 09' W.	Surface	23.3	2911	2482	2482	20.19	2.3005	2923	20.13	36.36
—	—	—	—	3432	3.2	2806	2781	4425	19.41	2.2152	2814	19.38	35.01
1861	9-10 septembre	37° 10' N.	26° 31' W.	Surface	22.5	2892	2486	2486	20.04	2.2907	2901	19.98	36.09
—	10 septembre	—	—	2651	3.8	2805	2773	4043	19.45	2.2263	2812	19.37	34.99
1863 *	—	37° 16' N.	25° 45' W.	Surface	21.8	2879	2494	2494	19.79	2.314			
— *	—	—	—	1628	5.2	2870	2822	3603	19.63	2.310			
1878 *	13 septembre	37° N.	18° 52' W.	4567	2.9	2825	2803	4982	19.76	2.308			
1889 *	14 septembre	36° 40' N.	13° 42' W.	Surface	22.6	2876	2468	2468	19.84	2.317			
— *	—	—	—	3050	3.2	2865	2840	4301	19.75	2.305			
1891 *	—	36° 38' 30" N.	13° 13' W.	Surface	22.2	2880	2483	2483	19.95	2.320			
— *	—	—	—	3275	3	2869	2845	4174	19.77	2.309			

Analyses des échantillons d'eau de mer recueillis pendant la Campagne du yacht PRINCESSE ALICE en 1905 *

Par G. H. ALLEMANDET

J'ai employé pour ces analyses, comme je l'avais fait pour celles de la Campagne 1904 [1], les deux procédés actuellement en présence : la méthode directe de Thoulet, rigoureuse, mais fort longue, et la méthode indirecte des Scandinaves, au moyen des tables de Knudsen, qui est très rapide, et d'une exécution commode et précise.

Étant données les polémiques qui sont à présent engagées sur ce sujet, il était intéressant de comparer les résultats fournis par les deux méthodes, et d'en tirer quelques conclusions. Ces conclusions n'auront naturellement ici rien d'absolu, et je me contenterai d'émettre des probabilités, car le nombre des échantillons d'eau qui m'ont été soumis n'est pas assez grand, et ces échantillons sont répartis sur une trop faible étendue de l'Océan pour que mes résultats fassent foi d'une façon définitive.

Les analyses de cette Campagne confirment point par point celles de la Campagne 1904.

Les densités fournies par la méthode de Knudsen sont légèrement supérieures à celles données directement par le pycnomètre. Les différences sont cependant un peu moins grandes qu'en 1904, et leur moyenne est de 0,00003. D'autre part, si l'on représente graphiquement la relation entre les halogènes et la densité à 0°, on constate, comme le montrent MM. Thoulet et Chevallier [2], que l'on obtient, non pas une ligne, mais une surface. Cette surface, cependant, a une largeur moindre que celle qui est indiquée par M. Thoulet, provenant de ses analyses et de celles de M. Sabrou.

Pour mes analyses de cette année, en particulier, qui ont été exécutées très minutieusement, elle a une largeur pratiquement nulle, si l'on tient compte des erreurs expérimentales.

En second lieu, si l'on représente graphiquement et à la même échelle le rapport de la densité à 0° à la teneur en SO_3, on obtient une surface large, et une distribution très irrégulière des points sur cette surface. A cette échelle, le dosage de SO_3 est moins précis que le titrage des halogènes ; l'erreur expérimentale relative est plus grande, puisque le °/₀ des halogènes est environ dix fois celui de SO_3.

* Bull. Mus. Océan. Monaco, nº 54, 1er décembre 1905.
[1] Bull. Mus. Océan. Monaco, nº 43, 10 août 1905.
[2] Bull. Mus. Océan. Monaco, nº 31, 10 avril 1905.

Néanmoins, la relation entre la densité et SO_3 est nettement une surface, ce qui prouve qu'il ne faut chercher de ce côté aucune proportionalité rigoureuse.

En conséquence, ce dosage me semble n'avoir qu'un intérêt secondaire, et pourrait sans désavantage être supprimé dans les analyses courantes de l'eau de mer.

En résumé, mes deux séries d'analyses (1904-1905) et principalement la série 1905, tendent à montrer que, conformément aux opinions en honneur chez les Scandinaves, il existe une relation suffisamment précise entre la chloruration et la densité de l'eau de mer, mais il reste à expliquer ce fait que la densité trouvée par les tables de Knudsen est légèrement supérieure (0,00003) à la réalité.

Nota. — Dans le tableau qui va suivre, je représente, comme je l'avais fait pour mes analyses de la Campagne précédente :

Par σ_0^0, la densité à 0° par rapport à l'eau distillée à 4° C.

Par σ_0^θ, la densité à la température *in situ* θ, calculée sur les courbes de dilatation de l'eau de mer, de M. Thoulet.

Par $n\,\sigma_0^\theta$, la densité *in situ*, en tenant compte du coefficient de compression correspondant à la profondeur n à laquelle l'eau a été puisée [1].

Les colonnes Halogènes et SO_3 représentent les quantités de ces composants par kilogramme d'eau.

Au moment de publier ce mémoire, j'apprends que tous les dosages de SO_3 effectués les années précédentes par MM. Thoulet et Sabrou sont entachés d'une erreur systématique provenant d'un mode opératoire défectueux.

Pour rectifier leurs résultats, il suffit de leur retrancher le nombre 0,08.

---

[1] J. Thoulet. Océanographie statique (1890), p. 361.

Résultats numériques des analyses d'eau de mer de la Campagne de 1905

Numéro de station	Date	Localité — Latitude	Localité — Longit. (Greenwich)	Profondeur en mètres	Température en degrés C.	Méthode de M. Thoulet — σ_4^0	σ_4^θ	$n\,\sigma_4^\theta$	Halogènes	SO_3	Méthode de M. Knudsen — σ_4^0	Cl.	Salinité
2015	24 juillet	35° 13' N.	8° 06' W.	Surface	22.9	1.02933	1.02516	1.02516	20.25	2.278	1.02933	20.20	36.49
—	—	—	—	2091	4.7	2829	2788	3789	19.58	2.195	2835	19.53	35.28
2021	25 juillet	34° 02' N.	12° 21' W.	Surface	20.4	2933	2583	2583	20.29	2.286	2940	20.25	36.58
—	—	—	—	Surface	20.4	2937	2887	2887	20.31	2.280	2943	20.27	36.62
—	—	—	—	4457	2.9	2808	2786	4921	19.41	2.212	2811	19.36	34.97
—	—	—	—	4457	2.9	2890	2868	5005	19.98	2.250	2894	19.93	36.00
2043	28 juillet	32° 28' N.	16° 37' 30" W.	Surface	21.9	2934	2542	2542	20.26	2.270	2934	20.21	36.51
—	—	—	—	2286	4.2	2822	2787	3882	19.51	2.200	2825	19.46	35.16
—	—	—	—	2286	4.1	2821	2787	3882	19.51	2.211	2825	19.46	35.16
2075	7 août	25° 57' N.	35° 08' W.	Surface	25.8	2970	2459	2459	20.53	2.324	2974	20.48	37.00
—	—	—	—	5580	2.9	2807	2785	5459	19.39	2.182	2808	19.34	34.94
—	—	—	—	5580	2.9	2840	2818	5492	19.65	2.220	2846	19.60	35.41
2081	8 août	26° 37' N.	36° 35' W.	Surface	25.4	2997	2502	2502	20.74	2.328	3004	20.69	37.38
—	—	—	—	5382	2.9	2808	2786	5366	19.42	2.182	2812	19.37	34.99
2129	17 août	33° 03' N.	41° 08' W.	Surface	27.2	2959	2407	2407	20.46	2.313	2963	20.41	36.87
—	—	—	—	3732	3	2816	2793	4580	19.45	2.185	2816	19.40	35.05
—	—	—	—	3732	3	2815	2792	4579	19.44	2.182	2815	19.39	35.03
2132	18 août	33° 22' N.	39° 12' W.	Surface	26.4	2946	2421	2421	20.37	2.291	2950	20.32	36.71
2137	19 août	33° 41' N.	36° 55' W.	Surface	26	2948	2435	2435	20.39	2.293	2953	20.34	36.74
—	—	—	—	3128	3.3	2809	2782	4281	19.43	2.205	2815	19.39	35.03
—	—	—	—	3128	3.3	2812	2785	4285	19.44	2.211	2816	19.40	35.05
2144	20 août	34° 01' N.	34° 12' W.	Surface	26.4	2964	2439	2439	20.51	2.308	2971	20.46	36.96
—	—	—	—	3200	3.4	2809	2781	4313	19.43	2.200	2814	19.38	35.01
2152	21 août	35° 04' N.	32° 11' W.	Surface	25.8	2915	2408	2408	20.16	2.287	2920	20.11	36.33
—	—	—	—	2505	3.6	2812	2784	3984	19.44	2.182	2815	19.39	35.03
2158	22 août	36° 24' N.	30° W.	Surface	25.2	2914	2426	2426	20.12	2.281	2914	20.07	36.26
—	—	—	—	3175	3.3	2814	2787	4308	19.45	2.179	2816	19.40	35.05
—	—	—	—	3175	3.3	2811	2784	4304	19.44	2.182	2815	19.39	35.03

NUMÉRO de STATION	DATE	LOCALITÉ		PROFONDEUR en MÈTRES	TEMPÉRATURE en degrés C.	MÉTHODE DE M. THOULET					MÉTHODE DE M. KNUDSEN		
		LATITUDE	LONGIT. (Greenwich)			σ_4^0	σ_4^θ	$n\,\sigma_4^\theta$	HALOGÈNES	SO_3	σ_4^0	Cl.	SALINITÉ
2163	23 août	37° 02' 30" N.	27° 33' W.	Surface	24.4	1.02914	1.02450	1.02450	20.12	2.259	1.02914	20.07	36.26
—	—	—	—	1685	5.2	2831	2783	3693	19.57	2.228	2834	19.52	35.26
—	—	—	—	1685	5.2	2829	2781	3690	19.56	2.225	2834	19.52	35.26
2164	—	37° 05' N.	27° 21' W.	Surface	24.3	2914	2448	2448	20.12	2.288	2914	20.07	36.26
—	—	—	—	2092	3.9	2814	2782	3544	19.46	2.192	2818	19.41	35.07
—	—	—	—	2092	3.9	2812	2780	3542	19.47		2819	19.42	35.08
2176	28 août	38° 02' 30" N.	26° 05' 30" W.	Surface	22.7	2895	2484	2484	20.02	2.271	2899	19.97	36.08
—	—	—	—	3051	5.0	2824	2779	4240	19.52		2827	19.47	35.17
—	—	—	—	3051	5.0	2823	2778	4239	19.53	2.187	2828	19.48	37.19
2179	—	38° 04' 30" N.	26° 03' W.	Surface	23.4	2898	2466	2466	20.03	2.273	2901	19.98	36.09
—	—	—	—	2486	5.0	2825	2780	3970	19.51	2.213	2825	19.46	35.16
—	—	—	—	2486	5.0	2822	2777	3966	19.53	2.202	2828	19.48	35.19
2202	31 août	39° 44' N.	28° 57' W.	Surface	22.8	2894	2484	2484	19.99	2.257	2895	19.94	36.02
—	—	—	—	2006	3.8	2810	2778	3739	19.45	2.198	2816	19.40	35.05
2203	—	—	29° 29' W.	Surface	22.6	2890	2481	2481	19.95	2.241	2889	19.90	35.95
—	—	—	—	1524	5.5	2829	2777	3508	19.55	2.191	2831	19.50	35.23
2207	1er septembre	39° 26' 40" N.	31° 24' 15" W.	Surface	22.5	2912	2505	2505	20.12	2.291	2914	20.07	36.26
—	—	—	—	1413	5.3	2828	2778	3454	19.55	2.194	2831	19.50	35.23
2220	3 septembre	38° 50' 30" N.	29° 18' 30" W.	Surface	22.6	2900	2491	2491	20.04	2.275	2902	19.99	36.11
—	—	—	—	1725	4.3	2827	2792	3618	19.56	2.203	2832	19.51	35.25
2243	6 septembre	37° 04' N.	28° 01' W.	Surface	23.3	2929	2495	2495	20.21	2.287	2927	20.16	36.42
—	—	—	—	3425	3.1	2813	2789	4431	19.43	2.186	2814	19.38	35.01
2246	—	37° 03' N.	27° 46' W.	Surface	23.3	2918	2484	2484	20.11	2.261	2920	20.11	36.33
—	—	—	—	2514	3.3	2816	2789	3994	19.47	2.193	2819	19.42	35.08
2254	7 septembre	37° 47' 40" N.	26° 07' W.	Surface	21.1	2897	2528	2528	20.03	2.246	2901	19.98	36.09
—	—	—	—	1950	5.2	2832	2784	3718	19.54		2830	19.49	35.21
2280	18 septembre	36° N.	8° 18' W.	Surface	22.3	2940	2537	2537	20.31	2.288	2942	20.26	36.60
—	—	—	—	2118	4.4	2827	2791	3806	19.54	2.191	2830	19.49	35.21

Analyses des échantillons d'eau de mer recueillis pendant la Campagne du yacht PRINCESSE ALICE *en 1906* *

Par G. H. ALLEMANDET

Ces analyses ont été exécutées de la même manière que celles des Campagnes 1904 et 1905 [1]. Cependant, dans l'évaluation des densités par le pycnomètre, toutes les pesées ont été ramenées au vide, correction que j'avais négligée les années précédentes.

En outre, sur la demande de M. le Dr Portier, j'ai cryoscopé tous les échantillons d'eau. J'ai employé pour cela un cryoscope ordinaire, peut-être un peu petit, et un thermomètre au 1/50 de degré. L'agitation était faite à la main avec une spirale de fil de nickel, et le froid était produit par le mélange de glace et de sel. Les températures indiquées sont les points de congélation commençante de la solution.

Les nombres fournis par le pycnomètre concordent bien avec ceux fournis par la méthode de Knudsen, quoique ceux-ci soient encore légèrement au-dessus des premiers (0,00002 en moyenne).

Si l'on représente graphiquement la relation entre la densité à 0° et les halogènes, on obtient pratiquement une ligne. Cela n'a rien d'étonnant, puisque ces échantillons d'eau ont été tous recueillis dans les mers du nord, et ont une composition voisine de celle de l'eau normale des Scandinaves. Du reste, mes analyses de l'année dernière, effectuées sur des eaux de l'Atlantique, m'avaient fourni des résultats semblables.

La relation entre la densité à 0° et la teneur en SO_3, représentée graphiquement à la même échelle, est encore nettement une surface.

En somme, les analyses d'eau de cette Campagne confirment celles des années précédentes au point de vue des deux méthodes d'analyse.

Nota. — Dans le tableau suivant, je représente, comme je l'avais fait pour les analyses des Campagnes précédentes :

Par σ_4^0, la densité à 0°, par rapport à l'eau distillée à 4° C.

Par σ_t^0, la densité à la température *in situ* θ, calculée sur les courbes de dilatation de l'eau de mer, de M. Thoulet.

Par $n\,\sigma_t^0$, la densité *in situ*, en tenant compte du coefficient de compression correspondant à la profondeur n à laquelle l'eau a été puisée [2].

Les colonnes HALOGÈNES et SO_3 représentent les quantités de ces composants par kilogramme d'eau.

* Bull. Mus. Océan. Monaco, n° 88, 14 janvier 1907.

[1] Bulletins nos 43 et 54 (1905).

[2] J. THOULET. Océanographie Statique (1890), p. 361.

Résultats numériques des analyses d'eau de mer de la Campagne de 1906

Numéro de station	Date	Localité — Latitude	Localité — Longit. (Greenwich)	Profondeur en mètres	Température en degrés C.	Méthode de M. Thoulet — σ_4^0	σ_4^θ	$n\,\sigma_4^\theta$	Halogènes	SO_3	Méthode de M. Knudsen — σ_4^0	Cl.	Salinité	Point de congélation C.
2454	2 août	Côte E. du Nord de Prince Charles Foreland		Surface	6	1.02744	1.02688	1.02688	18.92	2.151	1.02747	18.92	34.18	— 1.98
2461	4 août	Au large du Prince Charles Foreland		Surface	5.3	2711	2663	2663	18.70	2.123	2715	18.70	33.78	— 1.975
2463	—	78° 19' N.	11° 7' E.	Surface	5.7	2745	2693	2693	18.94	2.151	2749	18.94	34.22	— 2.005
2465	—	En entrant dans l'Icefjord		Surface	4.8	2636	2596	2596	18.18	2.059	2639	18.18	32.84	— 1.925
2466	—	Icefjord (En face la baie Coal)		Surface	5.5	2566	2520	2520	17.67	2.000	2565	17.67	31.92	— 1.865
2467	5 août	A l'entrée de la baie Advent		Surface	6.2	2540	2485	2485	17.50	1.970	2540	17.50	31.62	— 1.84
2468	—	Baie Advent (près du mouillage)		Surface	5.9	2485	2437	2437	17.15	1.942	2489	17.15	30.99	— 1.80
2469	—	Baie Advent (au mouillage)		Surface	7.8	0328	0317	0317	2.31	0.265	0332	2.31	4.20	— 0.265
2471	—	—		Surface	8.1	1395	1352	1352	9.62	1.092	1397	9.62	17.39	— 1.02
—				4	5.8	2497	2450	2452	17.19	1.945	2495	17.19	31.06	— 1.795
—				10	5.45	2534	2489	2494	17.46	1.977	2533	17.46	31.40	— 1.83
—				20	4	2656	2624	2633	18.29	2.086	2655	18.29	33.04	— 1.94
—				50	2.58	2747	2728	2751	18.96	2.152	2752	18.96	34.25	— 1.985
2480	11 août	Havre Green — (Green Harbour)		Surface	6.9	2149	2096	2096	14.83	1.693	2153	14.83	26.80	— 1.545
—				Surface	6.9	2138	2185	2185	14.74	1.671	2140	14.74	26.64	— 1.545
—				2	4.55	2610	2573	2574	17.98	2.045	2610	17.98	32.48	— 1.885
—				3	3.40	2647	2621	2622	18.26	2.052	2651	18.26	32.99	— 1.93
—				10	3.15	2664	2634	2639	18.36	2.085	2665	18.36	33.17	— 1.935
—				20	3.2	2702	2677	2686	18.61	2.102	2702	18.61	33.62	— 1.96
—				30	3.28	2735	2710	2724	18.87	2.141	2739	18.87	34.09	— 1.98
—				38	3.25	2736	2711	2729	18.88	2.142	2741	18.88	34.11	— 1.985
—				38	3.8	2743	2712	2730	18.90	2.158	2744	18.90	34.14	— 1.995
2481	12 août	Havre Safe (Safe Harbour)		Surface	4.5	2218	2186	2186	15.29	1.730	2219	15.29	27.63	— 1.60
—				2	6.55	2448	2392	2393	16.91	1.898	2455	16.91	30.55	— 1.795

NUMÉRO de STATION	DATE	LOCALITÉ		PROFONDEUR en MÈTRES	TEMPÉRATURE en degrés C.	MÉTHODE DE M. THOULET					MÉTHODE DE M. KNUDSEN			Point de congélation C.
		LATITUDE	LONGIT. (Greenwich)			σ_4^0	σ_4^θ	$n\,\sigma_4^\theta$	HALOGÈNES	SO_3	σ_4^0	Cl.	SALINITÉ	
2481	12 août	Havre Safe (Safe Harbour)		5	6.1	1.02499	1.02448	1.02450	17.23	1.950	1.02501	17.23	31.13	— 1.815
—				20	4.2	2636	2604	2613	18.16	2.067	2636	18.16	32.81	— 1.905
—				29	3.7	2687	2659	2672	18.51	2.094	2687	18.51	33.44	— 1.95
—				57	3	2745	2526	2552	18.91	2.136	2745	18.91	34.16	— 1.995
2488	14 août	Baie Cross (Cross-Road)		Surface	3.3	2556	2533	2533	17.62	2.005	2558	17.62	31.83	— 1.855
—				5	2	2621	2608	2610	18.09	2.039	2626	18.09	32.68	— 1.895
—				10	1.4	2651	2643	2648	18.29	2.060	2655	18.29	33.04	— 1.940
—				12	1.37	2660	2652	2658	18.34	2.075	2662	18.34	33.13	— 1.925
2489	—	—		5	1.45	2673	2665	2667	18.43	2.077	2675	18.43	33.30	— 1.945
—				10	1.58	2673	2664	2669	18.42	2.083	2674	18.42	33.28	— 1.945
—				20	2.3	2716	2700	2709	18.71	2.099	2716	18.71	33.80	— 1.955
—				30	2.1	2723	2710	2724	18.76	2.065	2723	18.76	33.89	— 1.965
—				40	2.75	2736	2715	2734	18.87	2.123	2739	18.87	34.09	— 1.98
—				50	3.12	2754	2730	2753	18.99	2.168	2757	18.99	34.31	— 2.005
—				60	2.4	2754	2737	2765	19.00	2.154	2758	19 00	34.33	— 2.005
—				60	2.4	2754	2737	2765	18.99	2.151	2757	18.99	34.31	— 2.005
2493	16 août	—		Surface	3.5	2476	2454	2454	17.07	1.930	2479	17.07	30.86	— 1.79
—				290	0.7	2781	2776	2915	19.19	2.194	2786	19.19	34.67	— 2.02
2507	20 août	—		334	0.8	2793	2787	2953	19.24	2.184	2793	19.24	34.76	— 2.03
2515	24 août	Baie Müller		Surface	4.3	2305	2280	2280	15.90	1.791	2308	15.90	28.73	— 1.665
—				1	4.3	2504	2473	2473	17.27	1.965	2507	17.27	31.20	— 1.815
—				3	3.95	2548	2518	2520	17.55	1.968	2547	17.55	31.71	— 1.845
—				10	3.18	2626	2603	2608	18.09	2.056	2626	18.09	32 68	— 1.895
—				22	3.05	2676	2655	2665	18.46	2.084	2680	18.46	33.35	— 1.945

Sur la densité et l'alcalinité des eaux de l'Atlantique et de la Méditerranée *

Par M. J.-Y. Buchanan

« Les observations rapportées dans le Tableau suivant ont été faites à bord du yacht *Princesse Alice*, commandé par M. le Prince de Monaco qui avait bien voulu m'inviter à faire le voyage de Dartmouth à Gênes pendant les mois d'août et de septembre 1892. J'ai cherché à déterminer si le rapport entre la densité et l'alcalinité varie ou reste constant en passant de l'Atlantique dans la Méditerranée.

» La détermination de la densité ($_4$°S t) a été faite avec un aréomètre du type qui a servi à bord du *Challenger*, mais avec cette amélioration que l'on peut ajouter autant de poids que l'on veut, et faire autant d'observations indépendantes de la densité de la même eau. L'instrument (n° 12) pesait 152gr,4075 réduit au vide. La tige était divisée en millimètres sur une longueur de 100mm. Elle avait un diamètre presque uniforme et les 100mm déplaçaient 0gr,814 d'eau distillée. Le volume du corps cylindrique de l'instrument a été déterminé à diverses températures en l'immergeant dans l'eau distillée dont la température était déterminée par un thermomètre normal divisé en dixièmes de degré. On a, de plus, déterminé de temps en temps et parallèlement à celle de l'eau de mer la densité d'eau distillée préparée immédiatement avant le départ. On a pu observer ainsi directement les poids d'eau de mer et d'eau distillée avec le même instrument, à des températures très rapprochées et souvent identiques. On a toujours fait au moins trois observations (quelquefois huit et même dix) sur chaque échantillon. La moyenne des trois observations est exacte à trois unités près de la cinquième décimale, pour la température de l'eau au moment de l'expérience. Pour profiter de tous les avantages de cette méthode, il faut que l'eau soit à la température de l'atmosphère et que celle-ci soit constante. Toutefois la détermination exacte de la température du liquide en observation est de la première importance pour la connaissance de sa densité, et c'est ici un grand avantage de l'aréomètre sur le pycnomètre. Avec celui-là le liquide est hors de l'instrument et sa température peut être déterminée exactement; avec celui-ci, il faut juger de la température de l'intérieur de l'instrument par celle du milieu dans lequel il se trouve. Il y a ainsi perte de temps et incertitude dans le résultat.

» En considérant les densités, la température restant constante, on observe que la densité de l'eau de l'Atlantique est la même tout le long de la côte méridionale de l'Espagne jusqu'au cap de Gata. Cela est confirmé par la présence d'un fort courant vers l'est, que l'on constate en même temps. Au delà du point indiqué, on n'a que l'eau plus dense de la Méditerranée.

» Pour établir le rapport de la densité avec l'alcalinité, on a calculé le poids de 1lit d'eau de mer à 23° C., température très voisine de la température moyenne (22°,96 C.), des échantillons à l'époque de la détermination de la densité. On évite ainsi la plupart des erreurs de réduction qui dépendent de la dilatation de l'eau de mer. On considère comme proportionnelle à la quantité de sel dissous dans 1lit d'eau, la différence D entre le poids de 1lit d'eau de mer à 23° C. et 997gr,655, poids du même volume d'eau distillée à la même température.

» Pour déterminer l'alcalinité, on acidifie 250cc d'eau dans une capsule de porcelaine avec une solution d'acide sulfurique dont 1cc équivaut à 1mgr d'acide carbonique (CO^2); on ajoute quelques gouttes d'une solution d'aurine (rosolate de potasse) et l'on fait bouillir pendant cinq minutes pour éliminer tout l'acide carbonique. On neutralise alors l'eau, toujours bouillante, avec une solution de soude caustique équivalente par volume à l'acide sulfurique. On détermine le point de neutralisation à plusieurs reprises. On a ainsi le volume d'acide sulfurique neutralisé par 250cc d'eau de mer. Le chiffre obtenu, multiplié par 4, donne en milligrammes de CO^2 par litre d'eau l'alcalinité A de l'eau de mer.

* C. R. Acad. Sciences, 5 juin 1893 et Note reproduite dans les Accounts rendered of work done and things seen, by J. Y. Buchanan, Cambridge 1919, p. 254.

Numéro de l'échantillon	Jour et heure de la prise de l'échantillon.	Température de l'eau de mer in situ t.	Température de l'eau de mer au moment de l'observation de la densité t'.	Densité de l'eau de mer [1] observée à t' $4°\ S_{t'}$	Densité de l'eau de mer [1] réduite à 15°56 C. $4°\ S_{15°56}$.	Alcalinité de l'eau de mer en milligr. de CO_2 par litre A.	Poids d'un litre d'eau de mer à 23° C. W.	Différence [2] entre W et 997,655 D.	Coefficient d'alcalinité $D_A = \frac{D}{A}$.	Point d'origine de l'échantillon [3] latitude N.	Point d'origine de l'échantillon [3] longitude de Greenwich.
		h m	o	o						o '	o ' "
1...	22 août	9.30 *a*	19,10	20,05	1,025400	1,026626	54,24	1024,706	27,051	0,4987	45. 3.	6.27. 5 W.
2...	»		19,50	20,20	5389	6539	54,88	4,619	26,964	0,4932	45.28. 5	6.54. 7
3...	23 »	9.15 *a*	19,40	20,85	5283	6613	54,00	4,693	27,038	0,5007	44.29	7.47
4...	24 »	7. *a*	17,10	20,60	5291	6561	54,32	4,631	26,976	0,4966	42.38	9.34
5...	»	1.15 *p*	17,40	20,60	5281	6541	54,68	4,621	26,966	0,4932	42. 9	8.53. 5
6...	»	2.55 *p*	18,80	20,70	5214	6504	54,44	4.584	26,929	0,4946	42.13.25	8.43. 5
7...	25 »	5.25 *p*	17,15	20,95	5234	6589	54,24	4,653	26.998	0,4977	41.34	9. 7
8...	26 »	7.30 *a*	18,90	20,55	5460	6705	53,36	4,795	27,140	0,5086	39.57. 5	9.30
»	»	»	»	20,50	5485	6715	»	»	»	»	»	»
9...	» »	10. 0 *a*	18,25	21,05	5332	6717	53,78	4,797	27,142	0,5047	39.25	9.38
»	»	»	»	20,65	5469	6744	»	»	»	»	»	»
10...	» »	2.30 *p*	16,15	20,90	5392	6732	54,36	4,812	27,157	0,4996	38.47.25	9.32
11...	» »	3.40 *p*	16,50	21,10	5302	6702	53,68	4,782	27,127	0,5053	38.33. 5	9.25
12...	27 »	8. 0 *a*	19,40	20,50	5673	6903	54,52	4,983	27,328	0,5012	36.50. 5	8.36
13...	» »	11.30 *a*	21,75	22,32	5507	7233	54,84	5,313	27,658	0,5043	36.43	8.13
14...	» »	4. 0 *p*	22,90	22,85	5345	7220	54,72	5,300	27,645	0,5052	36.36	7.37.25
15...	» »	6.40 *p*	22,40	23,30	5201	7201	55,20	5,281	27,626	0,5005	36.30	7.20. 5
16...	28 »	10. 0 *a*	21,15	23,60	5047	7137	55,04	5,217	27,562	0,5008	36. 3	5.48. 5
17...	» »	1.30 *p*	18,10	23,08	5225	7169	55,04	5,249	27,594	0,5013	36. 1	5.31.25
18...	» »	3. 0 *p*	17,40	23,57	5175	7366	55,96	5,446	27,791	0,4966	36. 4	5.22. 7
19...	29 »	9.15 *a*	17,40	23,10	5115	7065	54,66	5,145	27,490	0,5029	36. 9	5. 5. 5
20...	» »	6.45 *p*	22,40	24,55	4759	7119	55,72	5,199	27,544	0,4943	36.28	3.52
21...	30 »	6. 0 *a*	23,40	24,32	5511	7806	57,48	5,886	28,231	0,4911	36.39	2. 8
»	» »	» *a*	»	25,58	5551	7814	»	»	»	»	»	»
22...	» »	12.45 *p*	23,10	2 0	5191	7451	56,60	5,532	27,876	0,4925	37. 4. 5	1.24
23...	» »	6.20 *p*	24,70	24,75	5492	7907	58,32	5,987	28,332	0,4858	38.28. 5	0.45 E.
24...	31 »	6. 0 *a*	24,90	,7	5663	8084	58,28	6,164	28,509	0,4892	38.40	0.21
25...	» »	11.15 *a*	25,00	25, 4	5581	8203	59,24	6,283	28,628	0,4815	39.11	0.43
26...	» »	3. 0 *p*	25,40	25,85	5494	8239	58,60	6,319	28,664	0,4891	39.35	0.59
»	» »	»	»	23,72	6168	8292	»	»	»	»	»	»
»	» »	»	»	21,30	6773	8217	»	»	»	»	»	»
27...	» »	6.15 *p*	24,90	23,67	6191	8302	59,36	6,382	28,727	0,4839	39.51	1.10.25
28...	1 sept.	9.30 *a*	24,15	23,72	5971	8105	58,08	6,185	28,530	0,4912	40.47	1.51
»	» »	»	»	20,90	6754	8094	»	»	»	»	»	»
29...	2 »	9.30 *a*	21,40	23,50	6227	8287	58,44	6,367	28,172	0,4913	42.11	4.10
»	» »	»	»	23,90	6108	8278	»	»	»	»	»	»
30...	» »	6.30 *p*	22,40	21,20	7060	8480	»	»	»	»	42.38	5.31
31...	3 »	9. 0 *a*	22,90	21,20	7011	8434	»	»	»	»	43.25	7.10
32...	25 »	6. 0 *p*	21,30	24,25	5041	7316	»	»	»	»	42.56. 3	8.58
33...	» »	»	13,10	24,35	6054	8368	»	»	»	»	»	»
34...	» »	»	13,40	24,60	6317	8667	59,92	6,747	29,092	0,4855	»	»
35...	» »	»	13,10	24,70	6235	8635	60,20	6,715	29,060	0,4827	»	»
36...	26 »	»	13,10	24,25	6338	8613	59,84	6,693	29,038	0,4853	»	»
37...	» »	6.30 *p*	21,90	24,80	5986	8416	»	»	»	»	43.25	6.50
38...	» »	»	17,70	24,85	5898	8343	»	»	»	»	»	»
39...	» »	»	14,00	24,75	5821	8228	58,73	6,308	28,653	0,4879	»	»

[1] La densité de l'eau distillée à 4° C. est prise pour unité.

[2] 997gr,655 est le poids d'un litre d'eau distillée à 23° C.

[3] Tous les échantillons d'eau analysés ont été pris à la surface, sauf les échantillons suivants : n° 33 pris à 100m ; n° 34 à 500m ; n° 35 à 1000m ; n° 36 à 1500m ; n° 38 à 30m et n° 39 à 50m.

» Considérant que les données de la colonne D sont proportionnelles à la salinité de l'eau, en divisant ces chiffres par ceux de la colonne A, on a le coefficient D_A qui exprime le rapport entre la salinité et l'alcalinité. On voit que ce coefficient est plus grand dans l'Atlantique que dans la Méditerranée. La différence n'est pas grande, mais elle est fort nette. Le coefficient moyen des nos 1 à 20 (Atlantique) est 0,5000, le maximum étant 0,5086 et le minimum 0,4932. Pour la Méditerranée (nos 21 à 39), le coefficient moyen est 0,4875, le maximum étant 0,4925 et le minimum 0,4815.

» Puisque le coefficient maximum des 13 échantillons de la Méditerranée est inférieur au minimum des 20 échantillons de l'Atlantique, il est certain que nous avons ici une véritable différence entre les deux eaux. Les grandes différences observées par M. Gibson entre les eaux de la Baltique et celles de l'Atlantique peuvent être imputées aux gelées d'hiver. Dans la Méditerranée, les faibles différences sont peut-être dues à l'abondance des roches calcaires sur ses côtes ».

(5 juin 1893).

A retrospect of Oceanography during the last twenty years *

By J. Y. Buchanan, f. r. s.

. . . . . .

The following table gives the results of determinations of specific gravity of samples of Mediterranean water collected in 1893 by H. S. H. the Prince of Monaco, which happened to be made at identical temperatures with different hydrometers. The specific gravities given are each the means of from nine to eleven separate observations on sea-water and distilled water at the same time and at the same temperature. The greatest difference between any pair of values is 3.3 in the fifth decimal place, and the individuals of each pair depend on perfectly distinct sets of weighings, and are therefore quite independent.

Water, No.	Hydrometer, No.	Temperature, t^{o} C.	Sp. gravity at t^{o}.	Difference.
		°		
8	6	8.05	1.030156	16
	1	8.10	140	
21	1	8.00	1.030211	15
	6	8.05	196	
56	6	8.00	1.030036	4
	38	8.00	032	
51	1	10.00	1.029966	15
	16	10.10	951	
28	38	8.30	1.029234	1
	29	8.30	235	
56A	1	10.00	1.029944	0
	6	10.05	944	
8A	1	10.00	1.030271	27
	16	10.05	244	
52	6	10.00	1.029927	33
	1	10.00	894	
20	38	8.00	1.030002	1
	1	8.10	001	
20A	6	8.70	1.029945	8
	38	8.75	937	

It may safely be asserted that, working in this way, the specific gravity of a sea-water or similar solution can be determined with a probable error of not more than ± 1 in the fifth decimal place. In a water whose specific gravity is 1.03000, 1 in the fifth decimal place represents $\frac{1}{3000}$ of the whole solid contents ;

* Report 6th internat. geograph. Congress, held in London 1895, et Buchanan, Accounts rendered etc., Cambridge 1919, p. 28.

so that, by the careful use of the hydrometric method, the salinity to one part in 75,000 of water, or differences of 1 grain per gallon, can be determined ; and it has proved itself of great use in general chemical practice, especially in cases of pollution of streams.

It has been shown that the specific gravity of a sea-water can be determined with the greatest possible accuracy with the hydrometer, and, in reporting on water, this is the first and fundamental result to be stated. It is an absolute value depending only on the accuracy with which the weight of the hydrometer has been determined, and is free from all other errors. In order that observations on different waters may be comparable when they have not been made at the same temperature, it is necessary to effect some reduction. It may be taken that the variation of density of distilled water with change of temperature has been determined with the greatest attainable accuracy. If we multiply the specific gravity found by the density of distilled water at the temperature, the result will be the density of the sample at the same temperature ; or, as it may be otherwise expressed, the specific gravity referred to that of distilled water at 4° C. as unity. This value is affected only by whatever error may be inherent in the number taken for the density of distilled water.

. . . . . .

The more use is made of an absolute-weight hydrometer, the more valuable does it become. The repeated observations in distilled water increase the knowledge of its displacement, and when many observations have been made in distilled water or in sea-water, and the single observations of each series are compared with their mean, a calibration of the stem is obtained which no other process can give. This is exemplified by the following table, where the observations made on different expeditions have been classified according to the stem readings and their difference from the means in units of the fifth decimal place : —

Buchanan in Steam-yacht *Princesse Alice*.

Hydrometer J. Y. B. No. 12.

Nett totals	— 16.6	3.7	28.0	— 7.9	0.8	— 10.3	11.8	5.8	— 10.8	1.8
Number of observations	14	17	24	5	9	27	18	18	31	7
Mean nett value.....	— 1.19	0.22	1.17	— 1.30	0.09	— 0.38	1.04	0.32	— 0.35	0.26
Maximum value ±	5.3	4.2	6.1	5.9	1.2	3.9	5.8	4.0	5.2	4.7

In the case of hydrometer No. 14, it will be seen that the densities observed on the lower half of the stem are too high, and those on the upper half are too low. This points to the probability that the stem is slightly tapered, being thicker in the lower half than in the upper. It also furnishes a correction which could be applied to future observations. The other instruments also show probable very slight inequalities in the calibre of their stems.

For observing on board ship, I find that the method used in the *CHALLENGER*, of placing the cylinder on a swinging table, gives better results than any other. In the *PRINCESSE ALICE*, a ship of not more than 600 tons, the motion at sea is always considerable, but in ordinary circumstances the maximum amplitude of the motion of the floating hydrometer was not over 3 millimetres. The vibration period of the hydrometer always interferes with that of the ship and swinging table, producing moments of rest, and my experience is that a moderate rate of motion is an advantage. The individual readings of a series made under favourable circumstances at sea generally agree more closely with the mean than is the case with a series made under similar circumstances on land. The limit to the amount of motion with which trustworthy observations can be made does not depend on the hydrometer, but on the observer. When the motion goes beyond a certain amount of violence, the observer's attention is entirely taken up in looking after his own stability, and in preventing his coming into collision with the swinging table.

In the *PRINCESSE ALICE*, I frequently compelled myself to observe when the motion was violent, and then kept the waters for observation under more favourable circumstances. I rarely found any sensible differences in the results; but the labour of making the observations in bad weather is very great, and has an irritating effect. In the *CHALLENGER* there was no difficulty in deciding whether the observations should be proceeded with or not, because there was no difficulty in making them in weather that admitted of the main-deck port, which lighted and ventilated the laboratory, being kept open. When it was shut, the darkness put a stop to such observations independently of the motion.

. . . . . .

A time-honoured method of measuring the movement of oceanic waters is by throwing overboard floating bodies, generally empty corked bottles containing a paper with the date and position of their starting-point. If suitably ballasted so as to be protected from the influence of the wind and be exposed to the action of the current alone, very valuable results can be obtained in this way. The most remarkable are those obtained by H. S. H. Albert, Prince of Monaco. His floats were especially made for the purpose, and were thrown over in series on a definite system from his schooner yacht *HIRONDELLE* in the course of his scientific cruize round the Azores. The result of his work is to prove the existence of a circular drift current round the central basin of the North Atlantic. In districts where the currents are strong, much valuable information can be obtained from floats. In the *BUCCANEER*, when exploring the Gulf of Guinea, Mr. Little, the first officer, threw a bottle overboard every day at 1 p. m., and the few that were picked up and returned show very conclusively the different motion of these waters in different months.

In the observation of ocean currents, as in that of all the other physical features of the sea, co-operation by several parties in different vessels, in different but neighbouring localities, is very useful. The advantages of it are well shown in the results of the Swedish expeditions into the Baltic, with which the name of Professor Pettersson is so honourably connected. Could a similar fleet be despatched to the equatorial regions of the Atlantic, and carry out combined operations in the equatorial currents, each series extending over at least seven days and repeated at different times of the year, we should very soon know a great deal more about oceanic circulation, and we should find out a number of things which would at first astonish us, as we should find that our present theories have no place for them. One of the most striking observations made on board the *BUCCANEER* was that of the strong easterly current met with at a depth of not more than 25 fathoms from the surface, and extending to a considerable depth. This observation was confirmed much further to the west when the cable was being laid from Fernando Noronha to Senegal, and is referred to in Captain Thomson's paper. This current consists of comparatively dense water; the counter equatorial or Guinea current, which sets to the eastward at the surface, consists of comparatively fresh water. This current is evidently as important a factor in oceanic circulation as the westerly running surface current at the equator. It requires to be traced. Work of this kind cannot be done in a hurry, and it costs money. Were only one or two of the owners of large yachts to follow the spirited and enlightened example of the Prince of Monaco, and to combine for the thorough sifting of such a fundamental problem in the physics of the globe as the one here indicated, they would have great satisfaction themselves in the prosecution of the work, they would confer a lasting obligation on science, their names would be for ever connected with the solution of a great natural problem, and there would be value for the money expended.

The Cruise of the PRINCESSE ALICE (1902) *

By J. Y. BUCHANAN

The steam yacht *PRINCESSE ALICE*, with her owner, H. S. H. the Prince of Monaco, on board, has just returned from her fourth annual scientific cruise. Although nothing sensational occurred, much useful work was done, and a short account of it may interest the readers of *The Times*.

* *The Times*, 25 sept. 1902 et Accounts rendered etc., Cambridge 1919, p. 261.

It is to be observed that, though only the fourth cruise of the present yacht, it must be something like the thirtieth cruise of the Prince himself. For many years all his sounding and dredging was done by hand in the *HIRONDELLE*, a schooner of about 200 tons. Later, the first *PRINCESSE ALICE*, of 550 tons, fully fitted with steam appliances, was used, and since 1898 the present magnificent ship, built by Messrs. Laird, of Birkenhead, has been in use. Every year several fascicules are issued by the Press at Monaco ; and already the reports of the scientific work of the Prince in his various yachts occupy a large number of volumes, which contain original material of the greatest value ; while for beauty of production, type, paper, and plates they have no rival.

The yacht left Monaco on the 18th of July of this year, and made a straight course to Gibraltar. No work was done on the way, and the passage was not interrupted except by the pursuit and capture of an *Orca Gladiator*, an interesting species of the whale tribe which is pretty abundant in the Mediterranean as well as in the North Atlantic. Its distinctive feature is that it preys on other cetaceans, and being bolder it is more easily approached, and when struck it is apt to give more trouble than the others. Fortunately, it is not as large as the sperm or other well-known whales.

Having filled up with coal, the ship left Gibraltar on the evening of the 23rd of July, and shaped a course westwards towards the Azores. As the waters in the straits have often been explored by the Prince on previous occasions, nothing was done until well outside of the line from Cape Spartel to Cape Trafalgar, which delineates pretty accurately the « lip » of the basin of the Mediterranean.

On the 24th of July, being in the position where a remarkable haul of large crustaceans was made on the homeward journey last year, the trawl was put over in 800 fathoms. As so often happens in deep-sea work, the successful experience of one year is not repeated in the next. That we are usually unable to give any good reason for this shows how much we have yet to learn. Although the trawl failed to bring up the rich harvest of animals expected, it worked quite well, and brought up what it found, which was mainly mud. In the sounding made previous to putting over the trawl the temperature of the bottom water was found to be remarkably high—namely, 9.4° C. In the absence of confirmatory evidence, this temperature would certainly have been rejected, but the large quantity of mud brought up in the bag of the trawl was found to have a temperature of 8.75° C., so that it was legitimate to take 9° C. as a close approximation to the actual temperature at the bottom. The position of the station, lat. 36° 6' N., long. 7° 56' W. (Greenwich), is a long way outside of the basin of the Mediterranean, where all the water at a greater depth than 250 fathoms has a uniform temperature of about 13° C. On the other hand, in the North Atlantic Ocean the water at a depth of 800 fathoms could not have a higher temperature than 4-5° C. It was evident, therefore, that we had here struck one of the main drains of overflow

from the abysmal regions of the Mediterranean; and, taking the above temperatures as bases, we calculate that the water at the bottom in this locality consisted, roughly, of 50 per cent. of Mediterranean and 50 per cent. of Atlantic water. From a purely oceanographical point of view this was one of the most interesting occurrences of the cruise. In order that it may be thoroughly appreciated I may remind your readers that the Mediterranean is situated in a region which is relatively dry, and that during the year more water leaves its surface by evaporation than the combined amount which falls upon it in the form of rain along with that which is delivered into it by rivers. If shut off by a dam at the Straits of Gibraltar it would shrink in size and increase in saltness until it attained a condition analogous to that of the Dead Sea. The deficiency due to over-evaporation is made up by the surface current of Atlantic water which enters through the Straits and is so well known to navigators. But every gallon of Atlantic water brings with it about 6oz. of salt, which remains in the sea when the water evaporates. As the influx of water at the Straits goes on day after day, year after year, and century after century, some means must be found for removing the salt. To effect this nature does exactly what the marine engineer does when he feeds his boiler with sea water—she brines her Mediterranean down. The outflow of brine is naturally at the bottom on account of its high density, and after passing the lip of the basin between Capes Spartel and Trafalgar, it must follow the deepest channels outwards until it is lost in the ocean by mixture and diffusion. These local rivers of relatively warm and salt water are probably very narrow; and it is quite reasonable to suppose that in 1901 the trawl was dropped by the side of one of them, while this year it was dropped into the middle of it.

Proceeding westwards, two remarkable banks or oceanic shoals lie on the route to the Azores, the Gorringe or Getysburg bank and the Josephine bank. The Gorringe bank was examined by the former *PRINCESSE ALICE* on July 25, 1894, and on July 25, 1902, her successor continued the examination, but found nothing very new. It was, however, remarkable that the presence of the bank was shown quite unmistakably by the swirls and ripples on the surface of the sea to an extent that I have never witnessed on any other oceanic shoal having the same depth of water over it. July 27 was spent on the Josephine bank. Its extent must be very considerable, but, in the time at disposal, it was not possible to delimit it. An area of some three miles square was sounded over, showing an unusual uniformity of depth, always within a fathom or so of 120 fathoms. Between the Josephine bank and the Azores the greatest depth obtained was 2,340 fathoms, the temperature of the water at the bottom being 3° C.; and the ship arrived at Ponta Delgada, in the island of St. Michael's on the afternoon of July 31. In the 29 years which have elapsed since the *CHALLENGER* cast anchor in the same place many changes have occurred. The breakwater, which

was then only begun, has been finished, and a large portion of it has again been demolished by a storm. The orange trade has disappeared, and its place has been taken by that in pineapples. The countless glasshouses in which the pines are grown give the country quite a new appearance. Otherwise things are much the same. Life in the islands has the merit of tranquillity. The population is small in relation to the area and fertility of the soil, so that, while perhaps no one is very rich, none are very poor, and all have enough to eat.

On leaving Ponta Delgada the yacht proceeded to the channel which separates the islands of Terceira and St. Michael's. The only existing deep sounding in this district was one of 1,900 fathoms made many years ago by the Prince in the *HIRONDELLE*. A few miles from this spot a sounding was now made ; and a depth of 1,645 fathoms was found, which confirmed the existence of deep water in this locality. A remarkable feature of this sounding, besides the depth, was the comparatively high temperature of the bottom water. The thermometer which was sent down on the sounding line showed a temperature of 5° C. In the open water of the North Atlantic the temperature at this depth would not be higher than 3° C. It was evident that we had here sounded in an enclosed basin, shut off from the general waters of the surrounding ocean by a « lip », situated at such a depth below the surface that the *minimum* temperature of the water which can gain access to it from the outside is 5° C. It need hardly be pointed out that in the latitude of the Azores such a temperature cannot be obtained from the surface. This result was confirmed by a number of subsequent soundings and temperature determinations. A sounding about 40 miles north of this position in 1,650 fathoms gave a bottom temperature of 3.2° C., and one about 30 miles south of it in 1,285 fathoms gave a bottom temperature of 3.5° C., so that the existence of the enclosed basin is placed beyond all doubt, and it was appropriately named the *HIRONDELLE* Deep. The temperature of the secluded water, 5° C., enables us, by comparison with temperature observations at different depths outside, to fix within pretty narrow limits the depth below the surface of the ocean where the lowest « col » occurs which leads from the interior of the basin across the lip to the outer oceanic world, and it must be between 850 and 900 fathoms.

There is no doubt that other and similar enclosed basins occur amongst the Azores ; but they remain for future investigation. Chapters might be written about this interesting feature which is common to all archipelagoes, as witness the West Indies and the seas of the further East, such as the Celebes and the Sulu seas. Nearer home we have the Mediterranean with the original archipelago and the Red Sea. Indeed the further we proceed with the detailed sounding of the ocean the more such features do we discover. But, as the normal change of temperature with increase of depth decreases, it becomes more and more difficult to detect such features by temperature observations alone. It is, however,

quite evident that the bottom of the ocean is not a smooth spherical surface ; and, if it is not, then it must consist of heights and hollows.

As a complimentary feature to the *HIRONDELLE* Deep the Prince discovered a few years ago the *PRINCESSE ALICE* bank, a very extensive shoal lying to the south-west of the island of Fayal. A few days were now spent in making further soundings on it. For some years it has proved a most productive fishing ground ; and this year all the trapping resources of the *PRINCESSE ALICE* were put forth, but in vain. Hardly anything of any kind was caught by any means. This was certainly remarkable, because the extent of the bank and its distance from the islands are both so great that there can be no question of overfishing. Moreover, oceanic shoals are always good fishing grounds, and fishing on them reduces itself to putting out and hauling in lines as fast as possible. Yet here the fish would neither go into nets nor take hooks, and it almost seemed reasonable to suppose that they had gone elsewhere.

This year's cruise having specialized itself with the investigation of exceptional deeps and shoals, the Prince determined to finish it in the same sense. On finally quitting the islands the ship was steered northwards towards a place where the chart bears two soundings of 70 and 48 fathoms respectively and a note attributing them to the ship Chaucer in the year 1850. The entry on the chart is accompanied by the letter D to indicate doubt either as regards the depth or the position, or both.

In the year 1850 deep sounding was not understood, and extravagant depths were from time to time reported. But in 1850, as in 1750, a seaman knew perfectly well when he struck bottom with his deep-sea lead in water of 50 or 70 fathoms, and he will know no better in 1950. Indeed, the ordinary merchant ship at the time of the Chaucer depended perhaps more on his lead than on his chronometer, if he had one, in approaching such places as the mouth of the channel. When, therefore, he reports two soundings of such moderate depth as 70 and 48 fathoms, these depths are, in the first instance, to be accepted. The matter is a little different when we come to the other element—namely, the geographical position of his soundings. The Chaucer found 70 fathoms in lat. 43° 0' N., long. 29° 0' W. (Greenwich), and 48 fathoms in lat. 42° 45' N., long. 28° 35' W. It may be taken that his latitudes are fairly correct ; but, in the absence of any information as to how his longitudes are arrived at, they must be considered to be somewhat uncertain. The soundings made by the *PRINCESSE ALICE* on September 5 and 6 are—1,504 fathoms in lat. 42° 24' N., long. 28° 15' W. (Greenwich) ; 1,360 fathoms in lat. 42° 50' N., long. 28° 38' W. ; 1,250 fathoms in lat. 42° 55' N., long. 28° 47' W. ; 1,345 fathoms in lat. 42° 53' N., long. 28° 31' W. ; 1,078 fathoms in lat. 42° 57' N., long. 28° 27' W. ; and 1,192 fathoms in lat. 42° 57' N., long. 28° 22' W. The first of these soundings is four miles and the last is 14 miles east of the mean position of the two Chaucer soundings. These soundings may be taken to prove that the bank does not lie immediately to the eastward of its reported position. On the

other hand, the shoaling from 1,345 fathoms to 1,078 fathoms in a distance of less than fives miles, taken in connexion with the nature of the ground disclosed by the trawl, furnishes a clue which, if followed, might lead up to the Chaucer or an independent bank. It must be remembered that a set of 14 miles to the eastward in a day's run would in these latitudes be nothing extravagant. Admitting that the bank does not lie to the eastward of its reported position, there remains the possibility that it may lie on its reported position or to the westward of it. In view of the lateness of the season no more time could be spared, and the further elucidation of this question is postponed to a future occasion. Meantime, it is perhaps not impossible that the captain of the Chaucer may be still alive, and that these lines may meet his eyes. If so, it would be interesting if he would furnish some information about the soundings which stand in his name.

On the second day of the search, September 6, the trawl was put over in water which, according to the sounding should have been over 1,300 fathoms, but it dragged into shallow water and hooked on to the bottom. For long it appeared to be certain that it would have to be left there ; but, thanks to the Prince's great experience in these matters and to his unwearied patience, it was at last disengaged, and furnished a remarkable haul of black manganese-covered coral, which reminded me of the first haul in the *CHALLENGER* on similar ground to the south-west of the Canary Islands. It is such ground that forms the foundation of oceanic shoals. This I was able to observe and to study in the s. s. Dacia belonging to the India Rubber Company of Silvertown, in the year 1883, and an account of the investigations appeared in the columns of *The Times* at the end of that year. I had always been unable to follow the sedimentary theory of the fondation of coral islands beyond the point where the accumulation of sediment reaches such proportions as to oppose resistance to the tidal wave ; because resistance to a wave produces a current, and a current prevents the deposition of sediment, and this takes place even in very deep water. But the banks then discovered and investigated showed that the current which prevents the accumulation of dead sediment brings food to living settlers, such as deep sea polyps and corals, and favours their existence. When once started, they grow upwards, often in perpendicular pillars, the living building upon the dead, until in time then reach the surface or near to it. If the conditions, principally those of temperature, are favourable, the reef-building species settle on it and in time produce a coral island ; if they are unfavourable, we have banks or shoals such as the Dacia bank, the Seine bank, the Gorringe, the Josephine, and, when found, the Chaucer bank.

The route was now for home. Only one more station was made in the deep water of over 3,000 fathoms recently discovered by the Telegraph Construction Company's steamer Britannia, and on the 17th of September the yacht returned to Havre after a very successful cruise of exactly two months.

On a Remarkable Effect produced by the Momentary Relief of Great Pressure *

By J. Y. Buchanan

(Plate 1, fig. 13-16)

The effect is shown in the brass tube and the copper sphere which I have the honour to exhibit to the Society. It is also illustrated in figures 13-16 which accompany this paper.

The experiment was made for the first time on board the *Challenger* in the early part of the cruise. At that time the deep sea thermometers, with protected bulb, had only been recently introduced, and the effect of pressure on thermometer bulbs, whether protected or not, occupied public attention. In the deepest sounding made by the *Challenger* in the Atlantic, namely, that of March 26, 1873, when a depth of 3875 fathoms was reached, both the thermometers, which were sent to the bottom, collapsed. It, therefore, became a question what recommendation should be made to the thermometer makers to assist them in producing thermometers which shall be able to withstand the greatest pressure to which they are likely to be exposed in the work of ocean sounding.

For this purpose I immediately prepared the following experiment : — I took glass tubes of three different calibres. The widest had about the calibre of the outer bulb of a *Millar-Casella* thermometer, the narrowest had an internal diameter of 6 mm., and the third had a diameter of about 10 mm. A length of 75 mm. of each was sealed up at both ends, and the three tubes were wrapped in a cloth and enclosed in the cylindrical copper case of a deep-sea thermometer.

The upper and lower ends of these cases are pierced with many holes in order to permit the passage of water through them. On the next day, March 27, 1873, the case was attached to the sounding line and a depth of about 2800 fathoms was reached. When the case came up again it looked as if someone had struck it in the middle with a hammer. When it was opened and the cloth unfolded, it seemed for a moment as if it were full of snow, but a second look showed that what appeared to be snow was nothing but finely comminuted glass. The two wider tubes had collapsed, but the narrow one was intact. At first sight the effect produced on the copper case was puzzling, but after a little study and reflection its nature became apparent.

No account of the experiment has been published, and when I was able, through the kindness of H. S. H. the Prince of Monaco, to join his yacht the *Princesse Alice* for her cruise of last summer, I determined to repeat it, and, if possible, to vary it. Owing to press of other work, nothing was done until

* Proceedings of the Royal Society, vol. 72, p. 88-92, pl. 1 and 2. — J. Y. Buchanan, Accounts rendered etc. Cambridge, 1919, p. 349-357, 2 pl.

near the end of the cruise. The brass tube (Plate 1, figs. 13 and 14) above referred to, was the case for holding a piezometer which was accidentally broken. With it I repeated the experiment which I had made in the *CHALLENGER*, with this difference, that I used only one sealed glass tube. It was an ordinary pipette of 50 c.c., sealed up at both ends close to the body. It was wrapped in a piece of muslin and loosely packed with cotton waste so as to occupy the middle of the brass tube.

The length of the brass tube was 33 cm., and its diameter 4·13 cm. Its weight without the cover was 350 grammes. Both the top and the bottom are pierced with many holes so as to allow passage to the water.

Thus charged, it descended on the sounding line to a depth of 3000 metres, and when it came up it was evident from its appearance that the experiment had succeeded. As in the experiment on board the *CHALLENGER*, the glass tube had been converted into a snow-white powder. The external effect also was confined entirely to that part of the brass tube which had been occupied by the sealed glass tube. Above and below it there was no disfiguration.

The copper ball (Plate 1, figs 15 and 16) is an ordinary 5-inch ball for the supply tap of a cistern. A spherical glass fractionating flask, having a diameter rather less than $1\frac{1}{2}$ inch, was hermetically sealed close to the spherical body. It was then wrapped in a piece of muslin, and with loose packing of cotton waste it was enclosed between the two copper hemispheres, which were then soldered together. The holes at the poles of the copper sphere gave free communication with the sea water. The copper ball was then attached to the dredging cable, which took it to a depth of 3000 metres. When it came up no external effect was visible. I could not believe that even a small flask of the kind could support a pressure of 300 atmospheres, and I concluded that it had collapsed shortly after leaving the surface. Still, as the line was going to make a second excursion, and this time to 6000 metres, I re-attached the ball along with a larger one to it.

On returning to the surface the ball had the appearance which you see. If the soldered welt represent the equator, it will be seen that both polar areas are as they were. Perpendicularly to the equator a system of folds or creases runs northwards and southwards and extends very little beyond the tropics. The creasing is most accentuated at a part of the equator where there is a slight flattening. It is evident that the glass flask when it collapsed was relatively near this part of the ball. I did not open the ball, as I thought it would be more instructive to keep it as it is. The débris of the glass flask with the cotton waste is still inside it.

The effect of the sudden relief of pressure on the copper ball is distributed much more uniformly over it than is the case in the brass tube. In the latter the effect is very powerful and very local. In both cases the effects which we see have been produced in a moment of time, and are properly speaking, the

effects of violent shock. It is remarkable that in the ball the equatorial zone which has the welt to stiffen it should be the field of all the disfigurement, while the polar areas which have no strengthing have not been exposed, or at least have not yielded to strain.

If we examine the brass tube, figs. 13, 14, we see that, with the exception of the portion nearly in the middle which held the sealed glass tube, the case has perfectly preserved its cylindrical form. The distortion or crumpling affects only the part where the tube collapsed, and it is evident that it did not occupy a truly axial position, but lay nearer that part of the brass enveloppe where the ears for attachment to the sounding line are situated. Here a most formidable corrugation (fig. 13) has been produced, the metal being pinched into a fold so as almost to meet inside. Besides this, there are two minor corrugations. A greater thickness of water intervened between this part of the brass enveloppe and the enclosed glass tube, and the small effect produced shows that the difference of pressure within and without the brass tube was here comparatively small. It will be observed that the butt-joint of the tube has been opened at fig. 14 ; but this is a secondary effect due to the distortion.

The brass tube, as it stands, is a manometer or pressure gauge which records the distribution of pressure in it while filled with and immersed in water, during the instant of time when, while the pressure on all sides is very great, the pressure at a locality in the interior suddenly becomes nothing or very small. The effect of this sudden difference of pressure has been concentraded on the part of the brass tube nearest to which the glass tube was situated. Here the diminution of internal volume of the brass tube produced by the principal corrugation must, from rough measurements, be very nearly equal to that of the glass tube which collapsed. At first sight it appears remarkable that on the collapse of the glass tube, when it was free to the compressed sea water to fill up the void with water through the two open ends, instead of doing so, it filled it by pinching up the stout brass of which the tube was made, to such an extent as to obliterate the void.

The experiment shows us that it was easier in the time to pinch the envelope of brass than to shove in the plugs of water at both ends. The complete absence of distortion or disfigurement of the upper and lower portions of the brass tube shows that the tension of the water in these two portions of the tube was not materially diminished in the time between the collapse of the glass tube and the occupation of its place by the corrugation of the envelope. In considering this experiment, we must distinguish betwen the tension and the pressure of the water. When the water is at rest they are equal. During a catastrophe of this kind the balance is destroyed, as in the case of air which is transmitting a sound wave. If water were incompressible, it could have no tension, however great the pressure to which it might be exposed. What pinched the brass tube was not the column

of 2000 or 3000 metres subsiding on it, but the resilience of the unlimited supply of water in its neighbourhood at the high tension due to its compression by a pressure of 200 or 300 atmospheres. Relatively, this acts instantaneously ; while, to put in motion a mass of water takes a definite time. The quantity of water contained in the brass tube is not sufficient for its resilience to produce any counter-vailing effect to the resilience of the mass of compressed sea water outside.

In the case of the copper sphere it is otherwise. Its diameter is 5 inches, that of the sealed glass bulb inside of it was between 1 and $1\frac{1}{2}$ inch, and certainly not greather than $1\frac{1}{2}$ inch. If we assume it to have been $1\frac{1}{2}$ inch, then its volume is to that of the copper sphere in the proportion $3^3 : 10^3 = 27 : 1000$. If we assume that the glass bulb succumbed at a depth of 5000 metres, or at a pressure of 500 atmospheres, then the resilience of the water inside of the copper sphere would have a very considerable effect in neutralising the crushing action of the water outside. At the low temperature found at great depths in the ocean the volume of a mass of distilled water is compressed by 2.5 per cent. by a pressure of 500 atmospheres. The compressibility of sea water is nine-tenths of that of distilled water, therefore, it woult be compressed by 2.25 per cent. The compression produced by a pressure of 500 atmospheres is equal to the expansion when the pressure is diminished by the same amount. But the volume of the glass bulb was not greater than 2.7 per cent. of that of the copper sphere, and it was probably less ; therefore the water in the copper sphere would, at the moment of the collapse of the glass sphere, expand by very nearly the volume of the collapsed bulb, and the copper ball would then be filled, for the moment, with water having a tension equal to about atmospheric pressure. Its tension would then be brought up to 500 atmospheres by the entry of water through the holes at the two poles. The expansion of the mass of compressed water in the copper sphere takes off from the suddenness of the action, while it at the same time reduces, by at least one-half, the difference of pressures outside and inside the sphere at the instant of collapse, and this is the agent which deforms the metal sphere.

By altering the relation between the volume of the copper sphere and that of the glass sphere enclosed in it and the pressure to which the system is exposed, the effect produced may be varied at will. When experimenting in the sea, the volume of the compressed water outside of the copper sphere is practically infinite. If it is sought to reproduce these effects in the laboratory, then a very large pressure vessel must be used. If a pressure vessel of limited size be used and, altering the experiment, if the hermetically sealed glass sphere and the copper sphere with its polar perforations be placed in it separately, then when the pressure is raised to such a point that the glass sphere collapses, the copper sphere will burst outwards.

I was profoundly impressed at the time by the experiments which I made on board the *CHALLENGER*, and I connected them with another experiment which

is familiar to chemists. When substances are set to react upon one another in a sealed tube, there is frequently disengagement of gas which produces a very high tension in the interior of the tube even when cold. If it is sought to open the tube by breaking off the sealed point, an explosion is almost sure to take place. This may have very serious consequences, and yet it has been produced by a *relief* of pressure. These examples of the destructive effect which can be produced by the sudden relief of pressure led me to believe that many shocks of earthquake may be due to similar relief of subterraneous pressure.

These experiments, whether made with the copper ball or with the brass tube, furnish striking demonstrations of the importance of the element of *time* in all physical considerations.

The collapse of the brass tube, under the peculiar circumstances of the experiment, is the exact counterpart of the experiment which is frequently, but unintentionally, made by people out shooting, especially in winter. If, from inattention or other cause, the muzzle of the gun gets stopped with a plug of even the lightest snow, the gun, if fired with this plug in its muzzle, invariably bursts. Light as the plug of snow is, it requires a definite time for a finite pressure, however great, to get it under way. During this short time the tension of the powder gases becomes so great that the barrel of the ordinary fowling-piece is unable to withstandt it and it bursts.

Courants marins profonds dans l'Atlantique Nord *

Par A. Chevallier

M. Thoulet a publié dans le Bulletin du Musée Océanographique de Monaco [1] et avec plus de détails dans les Résultats des Campagnes scientifiques [2] un procédé de découverte et de mesure des courants sous-marins d'après la connaissance de la densité, de la température et des résultats de l'analyse chimique d'échantillons d'eaux récoltés en triple série verticale.

Le procédé est le suivant :

En trois points de l'Océan formant autant que possible un triangle équilatéral et situés à des distances n'excédant pas une centaine de milles, on a recueilli

* Bull. Mus. Océan. Monaco nº 63, 15 février 1906. Résumé sous le même titre dans C. R. Acad. Scienc., 8 janvier 1906, p. 116.

[1] J. Thoulet. *Mesure des Courants marins au moyen de l'analyse physique et chimique d'échantillons d'eaux récoltés en séries.* Bulletin du Musée Océanographique de Monaco, nº 12, 10 juin 1904.

[2] J. Thoulet. *Mémoires Océanographiques (première série).* Résultats des Campagnes scientifiques accomplies sur son yacht par Albert Ier, Prince Souverain de Monaco. Fascicule xxix, p. 103.

entre la surface et le fond, au moyen de bouteilles Richard superposées et munies chacune de son thermomètre, une série verticale d'échantillons. On détermine pour chacun d'eux les caractéristiques statiques et dynamiques que l'on représente en graphique pour chaque station.

D'autre part on dresse le graphique des trois $n S_4^0$ se rapportant respectivement à chacune des stations, en prenant pour axe commun des x les valeurs de $n S_4^0$ et pour axe des y celles de la profondeur.

Les plans verticaux passant par les côtés du triangle formé par les trois stations découpent dans la masse des eaux océaniques, entre la surface et le fond, un prisme triangulaire. Ce prisme est coupé par le plan de 1000 mètres, par exemple, profondeur à laquelle on veut étudier le courant, suivant un triangle. Chacun des sommets de ce triangle dont le n est le même, la profondeur étant la même pour les trois, possède un S_4^0 différent. Par le sommet où le $n S_4^0$ est le plus fort et par les deux points situés sur les deux autres arêtes du prisme ayant même valeur globale de leur $n S_4^0$ respectif, on fait passer un plan d'équilibre mécanique mais topographiquement incliné. Ces deux triangles découpent sur chaque face du prisme deux lignes ; l'une oblique mais en réalité de niveau ; l'autre horizontale quoique mécaniquement oblique et le long de laquelle les molécules d'eau peuvent être considérées comme glissant au-dessus du plan de niveau mécanique dans la direction du plus faible S_4^0 vers le plus fort S_4^0 avec une intensité proportionnelle au gradient des densités, quotient de la différence des densités aux extrémités de la droite par la distance de ces deux extrémités. Par le centre de gravité du triangle de niveau topographique, on mène, représentées à la même échelle, les trois droites de courants afférentes à chacun des trois côtés ; leur résultante graphique donne en grandeur exprimée en gradient de densité et en direction les caractéristiques du courant ainsi que son inclinaison, indiquée par l'angle des deux plans.

L'étude de quatre séries verticales d'échantillons d'eaux recueillis en 1904 par S. A. S. le Prince de Monaco à bord de la *PRINCESSE ALICE* m'a amené à réaliser de notables simplifications pratiques à la méthode de M. Thoulet.

Les quatre séries, prises entre les Açores et les Canaries sont les suivantes :

	Numéro de la Station	Date	Latitude N.	Longitude W.	Profondeur
A	1803	27 août 1904	33° 06'	25° 07'	4904m
B	1795	25 — —	31° 46'	25° 01'	5423
C	1798	26 — —	32° 18'	23° 58'	5422
D	1782	21 — —	31° 06'	24° 06' 30"	5413

Ces quatre stations forment deux triangles à peu près équilatéraux ABC et BCD. Il s'agit tout d'abord de calculer les distances respectives des quatre stations A, B, C et D. En employant la trigonométrie sphérique, il faut avoir soin, si l'on veut obtenir des résultats exacts, de se servir de tables à 7 décimales et de tenir compte pour la valeur de l'angle auxiliaire, des secondes et dixièmes de seconde. Or la position de la station en mer n'étant établie qu'avec une approximation de deux à trois minutes, il sera plus commode et aussi précis de suivre la méthode graphique suivante.

On suppose que le cylindre de la projection de Mercator parallèle à la ligne des pôles terrestres coupe la sphère suivant le cercle de latitude 32°, lequel passe vers le milieu de l'espace couvert par les quatre stations A, B, C et D. Si l'échelle employée est le $\frac{1}{1\,000\,000}$, la distance séparant les projections parallèles des méridiens 24 et 25 (Pl. 1, fig. 9) sera égale à

$$11,11^{cm} \times \cos 32^{\circ}$$

ou

$$11,11 \times 0,8480 = 9,42^{cm}.$$

On obtiendrait graphiquement cette dernière valeur en opérant ce que l'on appelle *le changement en longitude*[1]. Avec une droite EF dont la longueur est $11,11^{cm}$ on fait un angle FEG = 32°. On abaisse FG perpendiculaire sur EG ; EG sera la longueur d'un degré de longitude.

On mène les parallèles 31 et 33 espacés du parallèle 32 d'une longueur égale à 1 degré d'équateur, c'est-à-dire égale à $11,11^{cm}$. On place ensuite sur le dessin les quatre stations A, B, C, D d'après leurs coordonnées géographiques ; on n'a plus alors qu'à mesurer au double décimètre les distances respectives des stations.

On peut encore trouver graphiquement ces distances au moyen d'un autre procédé indiqué par M. Germain[2]. Les stations étant indiquées sur une carte en projection de Mercator, supposons que l'on veuille mesurer, par exemple, la distance BC (Pl. 1, fig. 11). La différence de latitude de ces deux points étant 32° 18' — 31° 46' = 32', on prendra sur l'échelle des longitudes comptée le long du parallèle de 31°, une distance EF de 32'. Au point C on mène une horizontale qui rencontre le méridien 24 au point G. On porte sur ce méridien une longueur GH = EF ; on trace HK parallèle à EF et coupant BC en K. La longueur CK portée sur l'échelle des longitudes donne en degrés, minutes et secondes la longueur de l'arc BC. On multiplie enfin le nombre de minutes par 1,855, longueur kilométrique du mille marin. Si la carte a été dressée à l'échelle du $\frac{1}{1\,000\,000}$ CK mesurée au double décimètre fournit immédiatement en kilomètres la distance cherchée.

[1] A. Germain. *Traité des projections des cartes géographiques.* Arthus Bertrand. Paris, p. 286.
[2] A. Germain. *Loc. cit.*, p. 285.

Lorsque les deux stations voisines sont sensiblement sur le même méridien, on obtient leur distance kilométrique en multipliant la différence de leurs latitudes, exprimées en minutes, par le nombre 1,855.

Dans le cas où, au contraire, les deux stations possèdent même latitude, on se bornera à opérer, comme plus haut, le changement en longitude. La nouvelle longueur obtenue portée sur l'échelle des longitudes donne le nombre de minutes contenues dans l'arc considéré.

Ces deux méthodes graphiques ont donné les résultats suivants :

	Méthode trigonométrique	Méthode Chevallier	Méthode Germain
AB	148,4 kil.	148,5 kil.	148,4 kil.
AC	139,1 »	139,5 »	137,8 »
BC	115,4 »	115,4 »	114,6 »
BD	113,7 »	113,5 »	114,6 »
CD	133,6 »	133,7 »	133,6 »

Ces chiffres montrent que l'erreur commise par l'un quelconque de ces procédés graphiques est inférieure à l'erreur d'observation faite dans la détermination des coordonnées géographiques des stations.

L'analyse des échantillons d'eaux, exécutée par M. Allemandet[1] a donné les résultats suivants :

	Profondeur	θ	S°_{4}	$S\theta$	$n\,S^{\theta}_{4}$	Halogènes	SO_3
Stn. A.	Surface	24.8	1.02942	1.02469	1.02469	20.34	2.247
	25	24.8	2940	2467	2479	20.34	2.314
	50	24.5	2924	2456	2480	20.23	2.338
	100	18.4	2929	2630	2678	20.25	2.310
	150	17.6	2925	2647	2719	20.22	2.292
	200	16.8	2914	2658	2754	20.16	2.291
	500	12.8	2871	2702	2941	19.83	2.228
	1000	9.5	2859	2744	3223	19.80	2.230
	1500	6.8	2854	2782	3500	19.72	2.229
	2000	4.8	2821	2779	3737	19.54	2.228
	2500	3.8	2811	2779	3977	19.47	2.228
	3000	3.0	2812	2783	4220	19.45	2.210
	3500	2.8	2802	2782	4458	19.41	2.207

[1] G. H. Allemandet. *Analyse des échantillons d'eau de mer recueillis pendant la Campagne du yacht* Princesse Alice *en 1904.* Bulletin du Musée Océanographique de Monaco, nº 43, 10 août 1905.

	PROFONDEUR	θ	S^{0}_{4}	S^{θ}_{4}	$n\,S^{\theta}_{4}$	HALOGÈNES	SO_3
Stn. A.	4000	2.8	1.02810	1.02790	1.04706	19.45	2.201
	4904	3.0	2803	2779	5156	19.40	2.191
Stn. B.	Surface	25.1	2967	2479	2479	20.47	2.350
	25	24.0	2969	2514	2527	20.48	2.357
	50	20.9	2946	2580	2604	20.37	2.332
	100	17.9	2927	2639	2685	20.31	2.311
	150	17.0	2923	2658	2730	20.26	2.312
	200	17.0	2908	2644	2740	20.19	2.302
	500	12.0	2866	2712	2951	19.81	2.274
	1000	8.8	2857	2769	3248	19.74	2.268
	1500	6.2	2851	2792	3511	19.68	2.178
	2000	4.2	2819	2785	3743	19.52	2.198
	2500	3.6	2814	2786	3983	19.45	2.304
	3000	3.0	2811	2789	4226	19.43	2.182
	4000	2.5	2804	2787	4703	19.39	2.197
	4500	5.5	2813	2764	4920	19.42	2.215
	5000	3.5	2807	2780	5176	19.39	2.208
	5423	3.0	2812	2790	5390	19.44	2.178
Stn. C.	Surface	25.6	2950	2446	2446	20.38	2.313
	25	22.8	2939	2519	2531	20.32	2.313
	50	19.4	2923	2599	2623	20.22	2.303
	100	17.8	2927	2642	2690	20.23	2.296
	150	17.5	2920	2642	2714	20.18	2.306
	200	17.0	2925	2660	2755	20.19	2.286
	500	12.8	2869	2699	2938	19.84	2.269
	1000	9.5	2855	2748	3227	19.76	2.232
	1500	6.5	2847	2784	3502	19.73	2.232
	2000	4.8	2828	2787	3745	19.59	2.214
	2500	3.9	2811	2780	3977	19.49	2.187
	3000	3.4	2817	2791	4228	19.44	2.209
	3500	3.0	2802	2780	4456	19.43	2.203
	4000	2.8	2802	2782	4698	19.41	2.193
	5000	2.7	2800	2779	5175	19.41	2.186
	5422	3.0	2806	2782	5378	19.40	2.191
Stn. D.	Surface	25.2	2927	2437	2437	20.29	2.298
	Surface	25.5	2953	2453	2453	20.43	2.308
	25	21.1	2929	2559	2571	20.21	2.281
	50	18.9	2920	2609	2633	20.12	2 284
	100	16.5	2916	2661	2707	20.14	2.268
	150	16.0	2906	2666	2738	20.05	2.283
	200	15.0	2942	2722	2818	20.33	2.292
	500	13.5	2870	2686	2925	19.85	2.225
	1000	8.0	2859	2775	3254	19.74	2.230
	1500	6.1	2841	2784	3503	19.65	2.220
	2000	4.0	2828	2796	3754	19.53	2.221
	2500	3.0	2802	2780	3977	19.42	2.201
	3000	3.3	2804	2779	4216	19.40	2.205
	3500	2.8	2806	2786	4462	19.41	2.195
	4000	2.8	2802	2782	4698	19.40	2.205
	4500	2.4	2799	2782	4938	19 40	2.200
	5000	2.6	2810	2791	5187	19.44	2.194

On construit pour chaque station les graphiques complets θ, $S_{\frac{1}{4}}$, $S_{\frac{1}{2}}$, Halogènes et SO^3 entre la surface et le fond. D'autre part on construit les graphiques des $S_{\frac{1}{2}}$ se rapportant respectivement aux trois stations A, B et C (Graphiq. Pl. 1) en prenant pour axe commun des x les valeurs de $S_{\frac{1}{2}}$ et pour axe des y celles de la profondeur ; on obtient ainsi trois lignes brisées irrégulières qui, en général, ne sont pas parallèles, mais tantôt se coupent et tantôt s'écartent les unes des autres. Le même graphique sera exécuté pour l'ensemble des trois stations B, C et D.

Il est plus commode, pour obtenir facilement et rapidement les chiffres nécessaires au calcul des caractéristiques du courant à une profondeur quelconque, d'employer les courbes des $S_{\frac{1}{2}}$ au lieu de celles des $n\,S_{\frac{1}{2}}$ comme l'a fait M. Thoulet. En effet pour une même série verticale, le $S_{\frac{1}{2}}$ varie très peu entre la surface et le fond, tandis que le $n\,S_{\frac{1}{2}}$ augmente d'une manière considérable par suite de l'accroissement, avec la profondeur, du coefficient de compressibilité n. Afin de pouvoir mesurer graphiquement la valeur de $n\,S_{\frac{1}{2}}$ à une profondeur quelconque, on est donc obligé d'employer une feuille de papier quadrillé de dimension trop grande ; le même inconvénient ne se présente pas avec les courbes des $S_{\frac{1}{2}}$. D'ailleurs l'intensité et la direction du courant sont déterminées par les différences linéaires existant entre les trois $S_{\frac{1}{2}}$ situés dans le plan horizontal considéré et non pas par les différences entre les $n\,S_{\frac{1}{2}}$. Si cependant on désire calculer l'inclinaison du courant, il sera indispensable de tracer le graphique des $n\,S_{\frac{1}{2}}$ afin de connaître les trois profondeurs différentes auxquelles, pour les stations étudiées, le $n\,S_{\frac{1}{2}}$ est le même, c'est-à-dire la position du triangle d'équilibre mécanique. Or cette inclinaison est excessivement faible ; sans être directement proportionnelle à l'intensité du courant, elle varie cependant avec elle et devient nulle quand celle-ci est elle-même nulle ; sa connaissance ne sera donc nécessaire que dans le cas d'intensité maximum des différents courants situés sur une même verticale. Alors seulement on établira le graphique des $n\,S_{\frac{1}{2}}$; mais on n'en fera qu'une faible portion, aux environs de la profondeur considérée et on pourra alors se servir d'une échelle suffisamment grande pour y effectuer graphiquement toutes les mesures sans être obligé de prendre une immense feuille de papier quadrillé. De même il ne sera plus nécessaire de développer le prisme qu'entre les mêmes limites du graphique des $n\,S_{\frac{1}{2}}$.

Cherchons maintenant les caractéristiques du courant à la profondeur de 25 mètres, par exemple, telles qu'elles résultent des trois séries verticales B, C et D.

Sur le tableau général des résultats, on trouve :

Stn.	B	$S_{\frac{1}{2}} = 1{,}02514$
Stn.	C	$S_{\frac{1}{2}} = 1{,}02519$
Stn.	D	$S_{\frac{1}{2}} = 1{,}02559$

Les molécules d'eau se déplaçant du plus faible vers le plus fort $S_{\frac{1}{2}}$, on aura un courant allant de B vers C avec une intensité proportionnelle ou gradient γ_1

de 1,02519 — 1,02514 = 0,00005 divisé par la distance de B à C, c'est-à-dire 115 kilom. donc de B vers C,

$$\text{gradient } \gamma_1 = \frac{1{,}02519 - 1{,}02514}{BC} = \frac{0{,}00005}{115} = 0{,}0000004$$

on aurait de même de B vers D,

$$\text{gradient } \gamma_2 = \frac{1{,}02559 - 1{,}02514}{BD} = \frac{0{,}00045}{114} = 0{,}0000039$$

et enfin de C vers D,

$$\text{gradient } \gamma_3 = \frac{1{,}02559 - 1{,}02519}{CD} = \frac{0{,}00040}{134} = 0{,}0000030$$

Au lieu de conserver toutes ces décimales et afin d'avoir des nombres entiers, nous supposerons toujours que le gradient ainsi obtenu est multiplié par 10^7. On aura alors,

de B vers C...	$\gamma_1 = 4$
de B — D...	$\gamma_2 = 39$
de C — D...	$\gamma_3 = 30$

Au centre de gravité N du triangle BCD, tracé en vraie grandeur, on mène parallèlement aux trois côtés et dans le sens convenable, trois droites proportionnelles aux nombres 4, 39 et 30. En construisant la résultante NR (Pl. I, fig. 10) de ces composantes, d'après le parallélogramme des forces, on aura l'intensité du courant, que l'on trouve égale à 61 ; son orientation mesurée au rapporteur est S. 30° E.

Tous les courants vont en montant[1]. Pour avoir l'inclinaison de ce courant sur l'horizontale, on tracera, comme on l'a dit plus haut, le graphique des $n\,S_4^\theta$ correspondant aux trois stations B, C et D. La planche II représente ce graphique entre la surface et 500 mètres.

Le plus fort $n\,S_4^\theta$, à cette profondeur de 25 mètres, se trouve à la station D, où sa valeur est 1,02571. En menant la ligne verticale passant par ce point, on remarque que ce chiffre est atteint à 30 mètres pour la station C et à 40 mètres pour la station B. Ces différentes profondeurs fixent la position du triangle d'équilibre mécanique.

Reportons-nous alors à la figure 10 de la Pl. I ; par le point D on trace DE parallèle à la résultante NR ; par les trois points B, E et C on mène des perpendiculaires à BC. On porte une longueur BG proportionnelle à la différence de niveau entre D et B, c'est-à-dire 40 — 25 = 15 mètres, et CH proportionnelle

[1] J. Thoulet et A. Chevallier. *Sur la circulation océanique.* Comptes Rendus Acad. Sc., t. cxlii, p. 245, 22 janvier 1906.

à la différence de niveau entre D et C c'est-à-dire 30 — 25 = 5 mètres. La droite GH rencontre la perpendiculaire au point E en F' ; EF' = 12 mètres représente la différence de niveau entre le point E et le point F. L'inclinaison φ du courant est l'angle en D du triangle rectangle EFD dans lequel ED, mesuré graphiquement sur le dessin est égal à 107 kilom. et EF = 12 mètres.

Dans ce triangle, on a

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{EF}{ED} = \frac{12}{107000}$$

$$\log. 12 = 1{,}0791813$$

$$- \log. 107000 = \bar{6}{,}9706162$$

$$\log. \operatorname{tg} \varphi = \bar{4}{,}0497975$$

$$\varphi = 0^\circ\ 0'\ 23''\ ^1.$$

On pourra opérer de la même façon non seulement pour les profondeurs où l'eau a été recueillie et analysée mais aussi pour les profondeurs intermédiaires ; les différents S_t^0 seront alors mesurés directement sur le graphique.

La seule inspection du graphique des S_t^0 permet de prévoir, immédiatement et sans calcul, l'importance du courant à une profondeur quelconque et par conséquent les variations du courant depuis la surface jusqu'au fond. En effet, l'intensité étant proportionnelle aux différences des densités S_t^0, au même niveau topographique pour les trois stations considérées, ces différences sont d'autant plus grandes que les courbes des $S\theta$ sont graphiquement plus écartées l'une de l'autre sur une même horizontale. Or, l'erreur expérimentale pour la mesure des densités étant égale à 0,00004, chiffre fixé par la Conférence de Stockholm, on sera en droit d'admettre, à priori, que si, à une profondeur donnée, l'écartement extrême de deux des trois courbes est moindre ou égal à 0,00004, à cet endroit le courant sera nul tandis qu'il sera maximum si l'écartement est lui-même maximum. Lorsque l'écartement est égal à 0,00004, on a calculé que le gradient du courant avait une valeur égale à 6, pour des stations distantes de 120 kilomètres en moyenne comme c'est le cas pour les quatre stations étudiées ici.

[1] Cet exemple montre que l'inclinaison du courant est, en général, très faible ; elle atteint rarement la valeur de quelques minutes. On pourra toujours supposer que la différence de niveau par kilomètre est proportionnelle à l'inclinaison, la proportion existant encore pour $\varphi = 30'$. Un calcul analogue au calcul précédent montre que la différence de niveau par kilomètre est de

0,0048m	pour une	inclinaison de	1"
0,0096	»	»	2"
0,0242	»	»	5"
0,0485	»	»	10"
0,2909	»	»	1'
0,8726	»	»	3'

et ainsi de suite.

Si l'on considère l'ensemble des stations A, B et C, sans tenir compte du courant de surface, qui pourrait cependant résulter des différences entre les trois valeurs de S_4^θ, par suite de l'influence perturbatrice qu'exercent sur les eaux marines les phénomènes météorologiques atmosphériques, on remarque que le courant qui possède déjà une certaine valeur à 25^m de profondeur, augmente considérablement jusqu'à 50^m où il devient maximum, l'écartement des trois courbes étant maximum ; il diminue ensuite rapidement jusqu'à 100^m, demeure à peu près constant de 100 à 150^m puis change de sens en devenant minimum à 175^m et augmente jusqu'à 200^m. Il décroît alors en devenant nul à 370^m, les trois courbes se coupant au même point, augmente progressivement jusqu'à 1000^m, où il devient maximum, puis diminue de 1000 à 1500^m. A partir de cette profondeur, comme les trois courbes sont sensiblement parallèles et peu éloignées les unes des autres, le courant est à peu près constant, tout en restant très faible, jusqu'au fond où il devient nul. Il présente cependant un léger maximum à 4500^m.

On appliquerait le même raisonnement à l'ensemble des stations B, C et D. Le tableau suivant rapporté aux deux centres de gravité M et N des triangles ABC

PROFONDEUR	M			N		
	DIRECTION	INTENSITÉ	INCLINAISON	DIRECTION	INTENSITÉ	INCLINAISON
25	S. 32° E.	66	58"	S. 30° E.	61	23"
50	S. 35° E.	175	36"	S. 65° E.	37	34"
100	S. 43° E.	14	»	S. 32° E.	30	»
130	S. 32° W.	15	»	»	»	»
150	S. 55° W.	19	»	S. 16° W.	31	»
175	S. 32° E.	4	»	»	»	»
200	N. 42° E.	20	»	S. 35° E.	102	3' 23"
300	N. 28° E.	9	»	»	»	»
370	0	0	0	S. 25° E.	29	»
430	»	»	»	S. 34° W.	6	»
500	S. 43° W.	15	»	N. 53° W.	32	»
660	»	»	»	N. 62° W.	12	»
1000	S. 23° W.	31	1' 26"	S. 23° W.	35	39"
1500	S. 24° W.	15	»	S. 88° W.	14	»
1710	»	»	»	S. 34° W.	5	»
1870	S. 25° E.	7	»	»	»	»
2000	S. 42° E.	10	»	S. 33° E.	15	»
2140	S. 25° E.	7	»	»	»	»
2320	»	»	»	S. 34° W.	5	»
2500	S. 22° W.	9	»	N. 88° W.	8	»
3000	S. 42° E.	10	»	N. 16° W.	19	»
3320	»	»	»	N. 73° W.	4	»
3500	S. 48° W.	9	»	N. 77° W.	7	»
4000	N. 63° W.	9	»	N. 85° W.	6	»
4100	N. 27° W.	4	»	0	0	0
4500	N. 19° E.	26	1' 35"	S. 77° E.	25	1' 23"
5000	0	0	0	S. 19° E.	17	»

et BCD et dont les coordonnées sont, pour M : lat. N. = 32° 23', long. W. = 24° 41' et pour N : lat. N. = 31° 43', long. W. = 24° 22', indique les caractéristiques des courants depuis la surface jusqu'au fond. On n'a calculé l'inclinaison que pour quelques points où l'intensité était maximum.

Pour bien se rendre compte de l'économie générale de la circulation le long des verticales passant par les centres de gravité M et N, on pourrait, le long d'une tige verticale en bois, à chaque profondeur où le courant a été mesuré, piquer une aiguille de longueur proportionnelle au gradient, orientée convenablement et faisant avec l'horizontale un angle égal à celui trouvé pour l'inclinaison du courant. Comme il est impossible de représenter une pareille figure sur une feuille de papier, on tourne la difficulté de la manière suivante :

Sur une droite verticale (Graphiq. Pl. III) et aux diverses profondeurs indiquées à l'échelle, où ont lieu les différentes variations du courant données par le tableau précédent, on suppose que le courant est figuré par une droite de longueur proportionnelle à son intensité ou gradient sur un plan perpendiculaire à la verticale c'est-à-dire horizontal orienté : l'est à droite, l'ouest à gauche, le nord et le sud en face du spectateur. On rabat ensuite tous ces plans le long de la verticale de manière à ce que leur nouvelle orientation soit absolument celle d'une carte géographique. Afin de rendre le dessin plus clair on a représenté à une échelle plus grande la succession des courants depuis la surface jusqu'à 200^{m}.

L'observation attentive des courbes des différentes caractéristiques θ, S°_{4}, S^{θ}_{4}, Halogènes et SO^{3} de l'eau de mer pour une même série verticale permet de distinguer la place et l'intensité probables des courants les plus importants. Si la variation de la caractéristique dynamique $n\,S^{\theta}_{4}$ présente à une certaine profondeur une irrégularité prononcée, on pourra affirmer qu'à cet endroit existe un courant. Or $n\,S^{\theta}_{4}$ est fonction de n, de la température θ et de la caractéristique statique de l'eau de mer S°_{4} ; cette dernière donnée dépend elle-même de la composition chimique, poids des Halogènes, de l'acide sulfurique etc., ce que pourrait représenter le symbole

$$n\,S^{\theta}_{4}\left\{\begin{array}{l} n \\ \theta \\ S^{\circ}_{4}\left\{\begin{array}{l}\text{halogènes}\\ \text{acide sulfurique}\\ \text{etc. etc.}\end{array}\right.\end{array}\right.$$

Mais si l'on considère en bloc S°_{4}, ensemble des divers éléments de la composition chimique et si l'on fait abstraction du coefficient de compressibilité n dans le cas où il s'agit d'une même série verticale, on voit qu'une irrégularité dans la courbe de S^{θ}_{4} pourra résulter soit d'une anomalie dans la suite des variations de S°_{4}, la variation de la température θ étant régulière, soit au contraire d'un

écart de la courbe de la température, celle de S_4^0 étant régulière, soit enfin de l'addition des deux écarts comme dans le cas d'une diminution dans la densité et, à la même profondeur, d'une augmentation de la température ou inversement.

Le courant sera par conséquent dû à la variation unique de S_4^0 ou à celle de θ ou encore à la prédominance de la variation brusque de l'une quelconque de ces deux variables sur l'autre variable.

Le maximum que l'on observe au point M à la profondeur de 50 mètres est causé par ce fait qu'à la station A, la densité S_4^0 est faible, tandis que θ est élevé, d'où résulte une diminution de S_4^θ.

Pour le point N, à 200 mètres, on remarque aussi un maximum dû à ce que, à cette profondeur, la courbe de S_4^0, pour la station D, manifeste un saut brusque tandis que la variation de θ est régulière.

Enfin pour les deux points M et N le maximum rencontré à 4500 mètres, est motivé par la température anormale 5°,5 que possède en ce point l'eau de la série verticale de la station B.

L'examen du schéma (Graphiq. Pl. III) permet de formuler les conclusions générales suivantes :

1° La circulation océanique est notablement plus active au voisinage de la surface que dans les profondeurs où elle diminue d'intensité jusqu'à devenir sensiblement nulle. Le maximum a lieu, comme on l'a vu plus haut, pour la verticale du point M à une cinquantaine de mètres de profondeur tandis que pour la verticale du point N il a lieu à 200 mètres. Ces deux maximums ont même direction.

2° Les courants, suivant une même verticale, quoique souvent très rapprochés l'un de l'autre sont susceptibles de posséder des directions notablement différentes.

3° Dans la région comprise entre les Açores et les Canaries, les courants superficiels donnent une direction qui est bien celle connue pratiquement à cette place du grand courant tropical et équatorial. Cette concordance prouve l'exactitude de la méthode de M. Thoulet. Elle permettra, dans l'avenir, lorsqu'un nombre suffisant de points aura été déterminé, de reconnaître le plan limite inférieur d'un courant c'est-à-dire en quelque sorte le sol liquide sur lequel il avance et en outre de passer de la connaissance de l'intensité d'un courant évalué en gradient à celle de son intensité évaluée en mètres, c'est-à-dire à sa vitesse réelle.

La compressibilité de l'eau de mer *

Par V. Walfrid Ekman

AVANT-PROPOS

A l'heure où cette note, qui date déjà de 1908, est sur le point d'être rééditée, avec un certain nombre d'autres mémoires, en souvenir reconnaissant du Prince Albert de Monaco, le si enthousiaste praticien et noble promoteur des recherches océanographiques, je désirerais ajouter ici quelques remarques analytiques sur les résultats obtenus.

Les expériences décrites consistent en la détermination précise de la compressibilité apparente de l'eau de mer dans un piézomètre en verre d'Iéna 16^{III} et plus particulièrement de la variation de cette compressibilité avec la température et la salinité. Pour calculer la compressibilité absolue on retombe sur les mesures d'Amagat concernant la compressibilité de l'eau distillée à 0° et sur la détermination de Straubel de la compressibilité du verre d'Iéna 16^{III}. D'après ces déterminations, on calcule la compressibilité apparente de l'eau pure à 0°, puis dans la série finale des mesures, on utilise un piézomètre avec de l'eau pure à 0° comme étalon réel de mesure de pression, en exposant à chaque expérience un tel piézomètre exactement à la même pression que l'échantillon d'eau de mer.

Pour les raisons exposées dans la note nous avons estimé que la valeur de compressibilité du verre donnée par Straubel, soit $\nu = 0.0_5225$, avait besoin de vérification, et à cet effet, j'ai effectué des comparaisons de diverses déterminations de la compressibilité absolue du mercure avec mes propres déterminations de compressibilité apparente du mercure dans du verre 16^{III}. Alors que les calculs étaient déjà terminés et le manuscrit sous presse, une information privée d'Amagat semblait impliquer qu'il fallait modifier la valeur de Straubel pour lire 0.0_5215, mais pour les raisons expliquées plus loin dans une note, je me suis finalement résolu à ne pas recalculer les résultats avec cette dernière valeur.

Depuis cette époque, Bridgman a effectué des recherches remarquables sur la compressibilité et les valeurs qu'il trouve pour le mercure [1] sont certainement

* Traduit de : *Die Zusammendrueckbarkeit des Meerwassers, nebst einigen Werten fuer Wasser und Quecksilber.* Conseil permanent international pour l'exploration de la mer. Publications de circonstance n° 43. Copenhague 1908. Trad. de M. R. A. Aubert, du Bur. Hydrogr. intern. de Monaco, un peu modifiée.

[1] Bridgman, Proc. Amer. Acad. of Arts and Sciences, vol. 47, p. 377, Boston 1912.

très dignes d'être retenues, eu égard en particulier à la détermination soigneuse de la compressibilité de l'acier Bessemer recuit dont était constitué le piézomètre[1]. Bridgman a trouvé pour la compressibilité moyenne η du mercure à la température de 22° et entre les pressions o et p (p étant mesuré en kgm par cm²) $\eta = a - bp$, formule dans laquelle log a = 4.5911 — 10 et log b = 9.7782 — 20. Si on évalue la pression en « bar », c'est-à-dire en mégadynes par cm², on trouve $a = 0.0_5398$ et $b = 0.0_{10}62$. Mes propres mesures de la compressibilité apparente du mercure donnent pour la même température $\eta' = 0.0_5174 - 0.0_91\ p$. En remplaçant p par les trois pressions étalons pour lesquelles j'ai déterminé η', c'est-à-dire 200, 400 et 600 bars, on obtient d'après les mesures de Bridgman $10^8\eta = 397$, 396 et 394 et pour mes propres mesures $10^8\eta' = 172$, 170 et 168, et par suite, pour la compressibilité cubique du verre 16[III] : $\nu = 0.0_5225$ ou 0.0_5226 qui s'accordent très exactement avec la valeur assumée à l'origine.

Dans ces conditions il semble qu'il y a maintenant encore moins de raison qu'en 1908 pour recalculer les résultats.

A l'occasion de la nouvelle édition actuelle j'ai supprimé une critique (que l'on trouve page 37 de la note originale) concernant une formule donnée par Richards et Stull ; cette critique, comme je l'ai reconnu par la suite, était due à une erreur de ma part. Les modifications au texte qui en résultent n'ont aucune importance matérielle sur les résultats finaux. A tout autre égard je me suis contenté de faire seulement quelques légères modifications de forme.

V. W. Ekman.

INTRODUCTION

Le Laboratoire Central a été chargé en 1904 par le Comité Central d'étudier la compressibilité de l'eau de mer en relation avec la température et la salinité. Cette étude avait été confiée à l'auteur du présent opuscule.

Un travail de ce genre avait dejà été effectué précédemment par Tait[2]. Mais on était d'avis que, au point de vue exactitude et étendue, les déterminations de cet expérimentateur ne pouvaient pas satisfaire aux exigences de l'océanographie moderne.

Au début je considérai comme probable que les formules de la compressibilité de Tait étaient correctes pour l'essentiel et qu'il suffisait de vérifier ou d'améliorer certaines constantes. Dans ce but il aurait suffi d'un petit nombre de mesures

[1] Bridgman, Proc. Amer. Acad. of Arts and Sciences, vol. 44, p. 255-265, Boston 1909.
[2] *Challenger Reports*: Physics and Chemistry, vol. II, 1889.

que l'on aurait pu effectuer en immergeant des piézomètres en mer profonde. C'est en effet de cette manière que des mesures de compressibilité ont été faites déjà par Aimé et Buchanan. J'ai été moi-même incité à adopter cette méthode par une communication adressée au Laboratoire Central par M. J. W. Sandström. Après quelques essais préliminaires exécutés dans le fjord de Kristiania (Oslo), les premières mesures proprement dites ont été entreprises en juillet 1905 dans le Sognefjord profond de 1200 mètres (température environ 6°,6). Mais le principal travail a été accompli dans la Mer Méditerranée et l'Océan Atlantique, au large de la côte portugaise. Pour les mesures en Méditerranée et dans l'Océan Atlantique, S. A. S. le Prince de Monaco mit gracieusement à notre disposition son navire océanographique *Princesse Alice*, en mai 1906. Ce travail n'aurait guère été possible sans cette aide précieuse et je suis chargé d'exprimer ici la gratitude du Laboratoire Central.

Le traitement des observations recueillies montra aussitôt que la formule de Tait était trop peu précise pour pouvoir être corrigée d'une manière satisfaisante à l'aide du peu de données obtenues. On se décida, par suite, à entreprendre, mais cette fois au Laboratoire, une nouvelle série de mesures susceptibles surtout de fournir avec le plus possible d'exactitude les différences de la compressibilité de l'eau à différentes tempéretures, etc. Les appareils nécessaires furent commandés aussitôt et leur livraison eut lieu assez tôt pour que les essais préliminaires pussent être commencés en l'été de 1907. Le travail expérimental fut poursuivi jusqu'en avril 1908. La dernière série de mesures donna des résultats beaucoup plus précis que les déterminations effectuées à la mer ; aussi a-t-elle été généralement utilisée seule pour le calcul de la formule définitive.

I. — Généralités sur la méthode et le calcul des mesures.

A côté peut-être de la détermination de la compressibilité du piézomètre, la plus grande difficulté à laquelle on se heurte dans les mesures précises de compressibilité est la mesure de la pression. Dans l'étude projetée il s'agissait toutefois moins de la compressibilité absolue de l'eau que de la modification qu'elle subissait avec les variations de température et de salinité. Dans ces circonstances la compressibilité du piézomètre n'influence point les résultats pourvu qu'elle soit indépendante de la température. La source d'erreur inhérente à la mesure de la pression peut aussi être évitée ou notablement réduite, dans le cas où l'on remplit deux ou plusieurs piézomètres d'échantillons d'eau différents et les soumet simultanément à exactement la même pression. Partant de ce principe, on a toujours utilisé simultanément quatre ou trois piézomètres, dont l'un était rempli d'eau distillée et les autres d'eau de différentes salinités. La diminution de volume de l'eau distillée a servi de mesure de la pression. On a choisi comme unité de pression 10^6 unités C. G. S. (environ 0,987 atm). L'avantage

de cette unité sur l'unité assez arbitraire « atmosphère » a été mis en lumière de divers côtés. Richards a proposé pour la caractériser le nom de « mégabar » ; V. Bjerknes, d'autre part, le nom de « bar ». Nous emploierons ici le dernier de ces deux noms, qui possède d'ailleurs l'avantage de la brièveté.

Nous désignerons par p la *pression calculée en bars*, *déduction faite de la pression atmosphérique*, et nous appellerons d'une manière générale par la suite p tout court la pression. La pression zéro doit donc être prise comme synonyme de pression atmosphérique.

Le piézomètre, dans sa forme utilisée tant pour les mesures en mer que pour les mesures au Laboratoire, se compose essentiellement de deux récipients A et B, (Pl. 1, fig. 1) communiquant entre eux par une petite ouverture e. A contient l'échantillon d'eau ainsi qu'une petite quantité de mercure. B, qui communique avec A et avec le milieu ambiant, est rempli de mercure. La diminution apparente de volume de l'eau en A se détermine par pesée de la quantité de mercure refoulée de B en A. Soient :

v_o le volume du récipient A à la pression atmosphérique,
h_o le volume spécifique du mercure à la pression atmosphérique,
w_o le volume spécifique de l'eau à la pression atmosphérique
et v_p, h_p et w_p les valeurs correspondantes pour une pression de p bars.

On a :

$$\nu = 1\left(1 - \frac{v_p}{v_o}\right) ; \; \eta = \frac{1}{p}\left(1 - \frac{h_p}{h_o}\right) ; \; \mu = \frac{1}{p}\left(1 - \frac{w_p}{w_o}\right) \qquad (1)$$

la compressibilité moyenne respective du piézomètre, du mercure et de l'eau entre o et p bars. D'autre part $1 - p\nu = v_p/v_o$, etc. La compressibilité moyenne *apparente* η' du mercure et μ' de l'eau sont données par les équations :

$$1 - p\eta' = \frac{1 - p\eta}{1 - p\nu} ; \; 1 - p\mu' = \frac{1 - p\mu}{1 - p\nu} \qquad (2)$$

Nous nommerons les valeurs $p\eta'$ et $p\mu'$ simplement la *compression apparente* du mercure ou de l'eau. Elles sont donc définies (en imaginant le piézomètre établi comme une éprouvette graduée) comme la diminution apparente de volume d'une quantité de liquide qui, à la pression atmosphérique, occupe l'unité de volume de l'éprouvette.

L'équation (2), en ce qui concerne l'eau, peut aussi s'écrire sous la forme :

$$p\mu = p\nu + p\mu'(1 - p\nu) \qquad (2,a)$$

$$\text{ou} \quad \mu = \nu + \mu'(1 - p\nu) \qquad (2,b)$$

De même pour le mercure. L'équation (2,b) exprime le rapport exact entre la compressibilité réelle et la compressibilité apparente. Dans le cas où l'on peut négliger le produit de $p\mu'$ par $p\nu$ (c'est-à-dire pour les basses pressions, ou pour de moindres exigences quant à l'exactitude), elle prend la forme couramment

employée $\mu = \mu' + \nu$, c'est-à-dire : la compressibilité apparente de l'eau est égale à la différence de compressibilité entre l'eau et le piézomètre.

Supposons que le piézomètre contienne à la pression atmosphérique $V\,\mathrm{cm}^3 = \frac{V}{w_0}$ grammes d'eau et H_0 grammes de mercure. A la pression de p bars il contient la même quantité d'eau, mais une plus grande quantité de mercure $H_0 + H$ grammes. On trouve alors pour la compressibilité apparente M' de l'eau et pour sa compressibilité apparente moyenne les expressions :

$$M' = \mu' p = \frac{h_0}{V}\,[H - \eta' p\,(H_0 + H)] \qquad (3,a)$$

$$\mu' = \frac{h_0}{pV}\,[H - \eta' p\,(H_0 + H)]. \qquad (3,b)$$

Dans le cas où $V = 0$, c'est-à-dire dans le cas où le piézomètre ne contient que du mercure, on trouve la compressibilité apparente moyenne de ce liquide par l'équation :

$$\eta' = \frac{H}{p\,(H_0 + H)}. \qquad (4)$$

La valeur η' a été calculée d'après des essais appropriés au moyen de l'équation (4).

De plus, dans l'expression de μ, par suite de l'équation (2,b), entre la compressibilité ν du piézomètre ; cette quantité n'a pas été déterminée à cette occasion. Les piézomètres étaient tous construits en verre à thermomètre d'Iéna 16$^{\mathrm{II}}$ et vieillis artificiellement. Pour cette qualité de verre on a trouvé la valeur 1/453000 par kg/cm^2, ou par bar $\nu = 0{,}0_5225$ [1] ; cette valeur a été utilisée dans ce qui suit, notamment pour toutes les températures.

Comme en réalité ν varie avec la température, les valeurs calculées de la compressibilité de l'eau sont évidemment entachées d'une erreur correspondante ; mais cette erreur est certainement trop petite pour présenter une importance quelconque dans le calcul des mouvements de la mer. Il n'y a pas eu, à ma connaissance, de détermination directe de la variation de ν avec la température. Winkelmann a cependant étudié le module de dilatation E du verre 16$^{\mathrm{III}}$ pour des températures différentes [2]. Il a trouvé que à 100, 200, 300 et 400° E est respectivement plus petit de 0,50, 1,91, 4,17 et 6,82 °/$_0$ qu'à 20°. Par extrapolation on trouve qu'entre 0 et 20° E varie de moins de 1 °/$_{00}$. Supposé que la compressibilité varie dans la même proportion que E, ceci correspondrait à une variation de ν de $0{,}0_91$ par degré. Même à 10000 m. de profondeur l'erreur en question pour 1° de différence de température ne dépasserait par conséquent pas une unité de la septième décimale du volume spécifique. Probablement ν dépend relativement *moins* de la température que E, et ainsi l'erreur est encore plus faible que celle

[1] R. Straubel, *Wied. Ann. 68*, p. 369 (1899).
[2] A. Winkelmann, *Wied. Ann.* 61, p. 105 (1897).

qui a été calculée plus haut. Même une erreur dix fois plus forte n'aurait guère d'importance. Dans ces conditions j'ai considéré comme inutile d'entreprendre une détermination de la variation de ν avec la température, d'autant plus qu'on ne pouvait s'attendre avec certitude à un bon résultat.

Comme nous l'avons déjà dit, on devait se servir d'un piézomètre rempli d'eau distillée comme dispositif de mesure de la pression, et l'on admettait comme connue la compressibilité de l'eau distillée. J'ai pensé d'abord d'utiliser dans ce but les valeurs trouvées par Amagat [1], étant donné qu'elles sont les plus dignes de foi parmi toutes les mesures de compressibilité absolue existantes. La variation de la compressibilité avec la température a toutefois pu être déterminée au Laboratoire Central avec une précision relativement très grande, et nous n'avons, pour cette raison, fait appel à Amagat que pour les valeurs rapportées à 0°. Les mesures de ce savant semblent en effet être plus précises pour 0° que pour les autres températures.

Les pressions données dans les tables d'Amagat (loc. cit. p. 544) sont calculées en atmosphères. Pour correspondre à notre unité elles doivent être diminuées de 1, puis multipliées par 1,0132. Les diminutions de volume spécifique divisées par les nombres ainsi trouvés donnent la compressibilité moyenne réelle μ. On a calculé au moyen de la Table 62 d'Amagat (Méthode des regards) les valeurs de μ à 0° pour 150, 200, 250 etc. jusqu'à 900 atm. Partant de ces valeurs on a calculé ensuite d'après les équations (2,a et 2,b) la compressibilité apparente μ' du verre normal d'Iéna 16^{III} et la compression apparente $M' = p\mu'$, en introduisant pour ν la valeur $0{,}0_5225$. Finalement on a déduit de ces valeurs μ' comme fonction de M' et obtenu le résultat suivant :

$$\mu' = 0{,}0_4 4886 - 0{,}0_3 181\ M'. \qquad (5)$$

La différence moyenne entre les valeurs individuelles observées de μ' et les valeurs correspondantes calculées d'après l'équation (5) est $0{,}0_7 2$ ou $0{,}0_7 3$. D'après la Table 63 d'Amagat (Méthode des contacts) on obtient, pour des pressions allant jusqu'à 1000 atm., des valeurs de μ' qui se laissent exprimer par la même équation (5), bien qu'ici l'accord entre les valeurs individuelles ne soit pas aussi bon. Pour des pressions supérieures à 1000 atm. les valeurs observées de μ' sont par contre en moyenne plus fortes de $0{,}0_6 2$ que d'après l'équation (5). Ce désaccord dépend peut-être du fait qu'Amagat, pour des pressions supérieures à 1000 atm. s'est servi d'autres pistons dans son « Manomètre à pistons libres » que pour les pressions allant jusqu'à 1000 atm. Dans ce qui suit nous emploierons la formule (5) comme la plus vraisemblable. Il vient

$$\frac{0{,}0_4 4886}{1 + 0{,}0_3 181\ p} = \mu' = \frac{M'}{p}. \qquad (5,a)$$

et,

$$p = \frac{M'}{0{,}0_4 4886 - 0{,}0_3 181\ M'} \qquad (6)$$

[1] Amagat. *Annales de Chimie et de Physique*, 6e série, 29, p. 543 (1893)

Nous reviendrons dans un chapitre ultérieur sur la question de l'exactitude de la valeur $\nu = 0{,}0_5225$ et de l'équation (5,a).

Les résultats directs des mesures décrites ci-dessus sont la compression apparente M' de l'eau étudiée et la compression apparente simultanée M'_0 de l'eau distillée sous exactement la même pression. La pression est $p = M'_0 / \mu'_0$, où μ'_0 représente la compressibilité moyenne apparente de l'eau distillée. La compressibilité moyenne réelle μ de l'eau étudiée est, par suite :

$$\mu = \nu + \frac{M'\mu'_0}{M'_0} - \nu M'. \qquad (6,a)$$

Le dernier membre à droite est très petit et peut toujours être calculé avec une précision pleinement suffisante. Si la valeur employée de μ'_0 est correcte, une erreur dans ν n'entraînerait donc dans μ qu'une erreur qui est *constante,* à chaque pression particulière, pour tous les liquides étudiés. (On suppose en cela que ν est indépendant de la température ; et il a été expliqué plus haut que ceci est admissible. Par contre si la valeur acceptée pour μ'_0 est incorrecte, toutes les *différences* (pour une pression particulière) entre les compressibilités d'eaux de différentes salinités et de différentes températures seront affectées de la même erreur relative.

II. — Les mesures a la mer

En effectuant ces mesures on s'est servi simultanément de quatre piézomètres de la forme indiquée sur la fig. 2 de la Pl. 1. Le récipient A est doublement recourbé et se termine par deux branches A' et A''. Il est relié au récipient B par une ouverture c de $0{,}7^{mm}$ environ de diamètre ; le récipient B communique à son tour par un tube à boules plusieurs fois recourbé $K_1 K_2 K_3$ avec le milieu ambiant. Un robinet H sert pour le remplissage et la vidange. On remplit d'abord complètement A à une température t_0 avec l'échantillon d'eau, B et $K_1 K_2$, avec du mercure (robinet tourné vers le haut). On fait faire ensuite au piézomètre un tour complet vers la gauche à une température plus basse t_1 ; par cette opération le mercure aspiré en A par le refroidissement passe dans la branche A'. On immerge alors le piézomètre dans la mer et on le fait basculer vers la droite, mais cette fois-ci d'un peu plus qu'un demi-tour (Pl. 1, fig. 3). Le mercure contenu auparavant dans A' tombe ainsi jusqu'à H. Le mercure qui a été forcé de pénétrer dans A après le premier renversement tombe, par contre, dans A''. Cette quantité de mercure sera rassemblée et pesée après hissage de l'instrument. Pour que tout soit visible sur la figure, le tube à boules a été détourné de 90° de sa vraie position. Les boules K_1 et K_2 et l'ouverture c devraient en réalité se trouver sur une ligne perpendiculaire au papier. On veille à ce que la surface de séparation entre le mercure et l'eau ambiante se trouve en K_2 au premier renversement

et en K_1 au deuxième. L'erreur qui se produit par les différences entre la pression intérieure et la pression extérieure est rendue aussi faible que possible. La boule K_3 a uniquement pour but de recevoir le mercure expulsé par la dilatation de l'eau au moment du hissage ; de cette façon il n'y a pas de perte de mercure.

Les volumes A ont été déterminés au laboratoire par pesée du piézomètre d'abord vide, puis rempli d'eau distillée. On a tenu compte de la force ascensionnelle de l'air. A la dernière pesée le trou du robinet H était aussi rempli d'eau ; ensuite le volume du trou du robinet a été déterminé par pesée avec du mercure, et soustrait. Dans le tableau ci-dessous se trouvent réunis les volumes des piézomètres utilisés. Ces volumes se rapportent à la température o.

Tableau 1.

Piéz. N°	Volume à 0°	Piéz. N°	Volume à 0°
5	144,194	4	156,683
7	142,488	10	151,594
9	142,905	11	156,330
12	142,154	13	146,775

Comme il fallait remplir à nouveau les piézomètres après chaque mesure, il était nécessaire d'avoir d'assez grands échantillons d'eau. Nous nous les sommes procurés en les prélevant sur les restes des échantillons d'eau des croisières norvégiennes périodiques. Après que l'eau eût été concentrée ou étendue comme il convenait, on l'aspirait dans une vieille tourie à acides suspendue le goulot en bas. On évacua partiellement l'air par aspiration et on secoua vigoureusement la tourie jusqu'à ce que l'eau fut saturée d'air sous une pression donnée. L'eau fut ensuite conservée dans des bouteilles vertes de 200 cm^3. Ces bouteilles avaient été auparavant longtemps traitées à l'eau très chaude pour éliminer les substances solubles du verre. On prépara des échantillons d'eau partiellement dépouillée de son air, à savoir de l'eau distillée et de l'eau de mer à teneur en chlore d'environ 7, 13 et 19 °/₀₀ [1]. Les échantillons ont été mis à 40° C. environ dans des bouteilles munies de fermetures en caoutchouc brevetées ; le remplissage se faisait jusqu'au bord de manière à n'y laisser aucun air.

D'autre part, on prépara divers échantillons d'eau de mer contenant de l'air, d'une teneur en chlore de 19 °/₀₀ environ. Ces échantillons ont été conservés dans

[1] L'élimination de l'air a été poussée un peu trop loin dans ces échantillons, car après la mise en train des travaux en mer on a constaté dans les bouteilles des traces de carbonates précipités.

des bouteilles semblables à celles dont nous avons parlé plus haut, mais munies des fermetures élastiques inventées par le Dr Fox (voir : *Public. de Circ. 21*, p. 21 à 22).

La marche des opérations, telles qu'elles ont eu lieu pour les mesures en *Méditerranée* et dans l'*Atlantique*, est la suivante.

En donnant au piézomètre des inclinaisons appropriées, on fit pénétrer par pression l'échantillon d'eau à travers le robinet H dans A et B, jusqu'à ce qu'ils fussent pleins. On plaça alors le piézomètre, avec le robinet fermé et le récipient B tourné vers le haut, dans un bain d'eau de température t_0 (à peu près la température de l'air). Après un quart d'heure environ on vida le récipient B de son eau, on le sécha avec du papier à filtrer et on le remplit soigneusement avec du mercure, de façon qu'il ne reste plus aucune bulle d'air accrochée au fond ou aux parois. On adapta à B un bouchon en caoutchouc soigneusement sélectionné percé d'un trou très égal, dans lequel on inséra le tube à boules K rempli à l'avance de mercure, et on renversa aussitôt le piézomètre (robinet vers le haut). Lorsque quatre piézomètres eurent ainsi été préparés, ils furent tous placés dans un coffre en cuivre, accompagnés de deux thermomètres à renversement Richter (cuvette des thermomètres *vers le haut*). Un tonneau, dont nous ne donnerons pas ici la description, contenait de l'eau à une température t_1 inférieure à t_0. Après que les piézomètres eurent été refroidis presque jusqu'à t_1, on remplit le coffre avec de l'eau du tonneau, puis on le ferma et on le plongea dans le tonneau lui-même. Pendant les trois quarts d'heure qui suivirent on agita l'eau dans le coffre et l'on maintint parfaitement constante la température de l'eau dans le tonneau. La température des piézomètres s'abaissait ainsi lentement et ne montait jamais. Ceci a son importance ; car, par suite des mouvements du navire, le mercure aspiré dans A n'était pas toujours immobile au-dessus de l'ouverture c, et, à la suite d'une hausse temporaire de température, il se produirait facilement un refoulement d'eau vers B, au lieu de mercure. Après l'intervalle de temps indiqué, on retira le coffre du tonneau, on le retourna d'un demi-tour dans le sens approprié, et on le remit pour 20 secondes dans le tonneau, de manière que les colonnes de mercure des thermomètres à renversement puissent se réunir avec le mercure dans les cuvettes. On retira ensuite de nouveau le coffre du tonneau et on lui fit compléter le tour. On retira les thermomètres à renversement du coffre et on les lut (température t_1) ; puis, conjointement avec les quatre piézomètres, on les fixa à un appareil de renversement lesté d'un plomb de sonde de 40 kg. et on les immergea dans la mer. On donna aux piézomètres 45 minutes pour prendre la température de l'eau à la profondeur voulue, avant de faire fonctionner l'appareil de renversement au moyen d'un poids messager (muni d'un parachute et, par suite, à descente ralentie). Pour économiser du temps, ce poids messager n'était suspendu qu'à 100 mètres au-dessus de l'appareil et était détaché lui-même par un messager ordinaire à chute rapide. Le renversement du piézomètre avait aussi lieu lentement et doucement par suite de la résistance d'un

disque adapté à l'appareil. Quand l'appareil fut parvenu sur le pont, on plaça les thermomètres à renversement dans un bain d'eau. Ensuite on vida soigneusement le mercure contenu dans *B* et au-dessus de *H* de chaque piézomètre, puis on rassembla le mercure se trouvant dans *A''* et on le conserva dans des tubes numérotés pour être pesé à terre. Pour terminer, on lut les thermomètres à renversement. Ces thermomètres, divisés en dixièmes de degré, avaient été contrôlés par calibrage de 4 en 4 degrés et détermination de deux points fixes. L'espace libre à l'intérieur du tube de protection était vidé à 0,2 atm. d'air pour obvier à toute influence de la pression extérieure (cf. *Public. de Circ. N° 23*, p. 26).

Il y avait 8 piézomètres en usage. Tandis que 4 se trouvaient dans le bain d'eau ou dans la mer, les 4 autres subissaient un nouveau remplissage et une nouvelle immersion dans le bain d'eau.

La profondeur fut déterminée par la poulie compte-tours de la machine à sonder Le Blanc (le câble passe sur une petite partie de la périphérie de la poulie et entraîne celle-ci par frottement). Les données étaient toujours plus fortes au hissage de l'instrument qu'à son immersion, la différence étant d'environ 2 m. pour 1500 m. de profondeur, 4 m. pour 2600 m. et 10 m. pour 4500 m. La cause en est manifestement due à l'élasticité du câble, car sa tension, indiquée par le dynamomètre, était (par suite du frottement dans l'eau), beaucoup plus grande à la montée qu'à la descente, et la longueur devait donc être plus grande dans le premier cas. Lorsque le câble pendait tranquillement dans l'eau, le dynamomètre indiquait une tension moyenne. Aussi a-t-on, pour calculer la profondeur, toujours utilisé la valeur moyenne entre les deux indications du compteur.

La circonférence de la poulie du compteur a été mesurée trois fois au moyen d'un fil de laiton de $0{,}3^{mm}$ de diamètre ; les valeurs obtenues ont été respectivement de 99,47, 99,56, 99,47 cm., soit une moyenne de 99,50 cm. La ligne de sonde avait une partie de 2^{mm} de diamètre, et une de 3, c'est-à-dire qu'elle était respectivement de 1,7 et $2{,}7^{mm}$ plus épaisse que le fil de laiton. Le rayon « effectif » de la poulie du compteur étant compté jusqu'au milieu de la ligne, on trouve une circonférence « effective » de 1,000 ou 1,003 m., suivant que c'est la ligne plus mince ou la ligne plus grosse qui court dans la gorge de la poulie. Les indications de la poulie compte-tours ont été corrigées pour cette particularité. De plus, l'angle α que forme la ligne avec la verticale à la surface de la mer a été mesuré à l'instant où, d'après le calcul, le messager devait atteindre l'appareil de renversement.

En ce qui concerne la température et la densité, on a obtenu les valeurs suivantes qui ont été appliquées pour le calcul de la pression dans la mer :

1) Dans la *Méditerranée* : Surface : $t = 15°{,}6$, $\sigma_0 = 30{,}5$; 1130 m. de profondeur : $t = 12°{,}9$; 1500 m. : $t = 12°{,}9$, $\sigma_0 = 30{,}9$; 2600 m. : $t = 13°{,}1$.

2) Dans l'*Océan Atlantique* : Surface : $t = 18°{,}4$, $\sigma_0 = 29{,}1$; 2600 m. : $t = 3°{,}1$; 3000 m. : $t = 2°{,}6$, $\sigma_0 = 28{,}1$; 4000 m. : $t = 2°{,}5$; 4500 m. : $t = 2°{,}5$.

Pour ce qui concerne les températures et les σ_0 aux profondeurs intermédiaires on a interpolé au moyen des données limitrophes connues de la mer[1].

La pesanteur croît légèrement avec la profondeur, parce que la densité de l'eau est beaucoup plus petite que la densité moyenne de la Terre. Par 45° de latitude, $g = 980{,}6$ à la surface de la mer et 981,0 à 2000 m. de profondeur. Pour nos besoins il suffit d'admettre $g = 981$ pour toutes les profondeurs. En utilisant les données ci-dessus et l'expression pour la compressibilité donnée à un des chapitres suivants, on a obtenu les valeurs ci-après de la pression à diverses profondeurs.

Tableau 2.

Profondeur	Pression en bars	
	Méditerranée	Océan Atlantique
1100 mètres	111,3 bars	—
1500 —	159,9 —	—
2600 —	263,9 —	263,5 bars
4000 —	—	406,8 —
4500 —	—	458,2 —

On a réuni dans le Tableau 3 les résultats primaires d'observation trouvés en *Méditerranée* et dans l'*Atlantique*. La *première colonne* donne la date et les coordonnées géographiques (latitude et longitude) où la mesure a eu lieu. La *deuxième* et la *troisième* colonne, les numéros des piézomètres utilisés et des échantillons d'eau avec lesquels ils étaient remplis. Les échantillons 0, 1, 2, 3 sont des échantillons dépouillés d'air (eau distillée et eau de mer) d'une teneur respective en chlore de 6,66, 13,08 et 19,39 °/₀₀. Par 3 L on a désigné un échantillon d'eau de mer de 19,39 °/₀₀ de chlore, qui avait été saturée à 2/3 d'atm. environ avec de l'air.

La *quatrième* colonne donne le poids (dans le vide) de la quantité pesée de mercure H ; la *cinquième*, les températures t_0 et t_1 du premier et du deuxième bain d'eau, et, en caractères gras, la température dans la mer (toutes d'après l'échelle normale à hydrogène.

Dans la *sixième* colonne, le premier nombre de chaque groupe donne la longueur (en mètres) de ligne filée, calculée comme il a été dit plus haut. Nous désignerons par M ce nombre. Le deuxième nombre (m) s'obtient en multipliant M par le cosinus de l'angle d'inclinaison α de la ligne (à la surface de la mer).

[1] G. Schott, *Ergebnisse der Valdivia-Expedition*, vol. I, atlas.
Allemandet, *Bulletin du Musée Océanographique*, Monaco N° 43, 1905.

M est donc certainement une valeur maxima, et m probablement une valeur minima pour la profondeur à laquelle les piézomètres ont été renversés dans la mer ; car l'angle compris entre la ligne et la verticale diminue probablement à mesure que l'on descend. Comme valeur la plus probable on admettra $(2M + m)/3$ et la pression en bars à cette profondeur se calculera à l'aide du Tableau 2 et s'indiquera par les troisièmes nombres (en caractères gras) de chaque groupe.

La *septième* colonne donne la compression apparente de l'eau. Cette dernière, comme dans l'exemple ci-dessous (21 mai, *Méditerranée*, profondeur 1501 m.), est calculée d'après les éléments indiqués plus haut).

Le piézomètre 12 a été rempli à 17°,0 avec de l'eau distillée. Conformément au Tableau 1 et à la formule pour la dilatation volumétrique thermique du verre 16^{III} :

$$\frac{w_t}{w_o} = 1 + 0{,}0_4 2317\, t + 0{,}0_7 105\, t^2 \qquad (7)$$

il contenait à cette température 142,154 × 1,000397 = 142,210 cm^3 d'eau. Au moyen des tables de K. Scheel [1], relatives à la dilatation de l'eau, on trouve donc pour le volume V de l'eau à la température $t = 12°,90$ et à la pression atmosphérique : $V = 142{,}123$.

On calcule de la même manière les volumes V des eaux 1, 2, 3 dans les piézomètres 5, 7, 9, en utilisant à la place des tables de K. Scheel la Table σ_t des *Tables Hydrographiques* de M. Knudsen. On trouve respectivement 144,149, 142,431 et 142,837.

Lorsque les piézomètres subissent, à une pression invariable, un abaissement de température de t_0 (= 17°,0) à t_1 (= 13°,335) et de t_1 à t (= 12°,90) il y aura aspiration de quantités de mercure dont les volumes peuvent être calculés avec les mêmes auxiliaires. On trouve pour la première variation de température les volumes 0,067, 0,080, 0,090, 0,100 cm^3, c'est-à-dire respectivement 0,91, 1,08, 1,22, 1,36 grammes (nous désignerons par H'_0 ces quatre chiffres), et pour la deuxième, 0,0066, 0,0082, 0,0096, 0,0110 cm^3 ou 0,090, 0,112, 0,130, 0,150 grammes (H''_0).

La quantité de mercure rassemblée et pesée Q est égale à $H + H''_0$, où H représente la quantité introduite par pression. Dans l'équation (3,a) on remplacera donc H par $Q - H''_0$ et H_0 par $H'_0 + H''_0$. Les valeurs de V sont groupées plus haut. On tire enfin la valeur η' de l'équation $\eta' = 10^{-8}(164 - 0{,}01\, p + 0{,}44\, t)$, dont on trouvera la justification au chapitre suivant. t représente ici la température et p la pression en bars, et l'on a par conséquent dans le cas présent $\eta' = 0{,}0_5 168$.

Nous obtenons de cette façon, au moyen de l'équation (3,a) les valeurs de la compression apparente $\mu' p$ portées dans la septième colonne du Tableau 3, à savoir, 0,006667, 0,006483, 0,006323, 0,006150.

L'analyse complémentaire de ces valeurs sera donnée dans un prochain chapitre.

[1] Karl Scheel, *Zeitschrift für Instrumentenkunde* 17, p. 140 (1897). Cf. aussi Landolt et Börnstein, Tables, 3e édition.

TABLEAU 3.

Heure et lieu	Piézomètre	Échant. d'eau	Mercure introduit par pression	t_0 t_1 t	Profondeur et **Pression**	100 $\mu' p$	$10^8 \mu'_0$ $10^8 (\mu'_0 - \mu'_{1,2,3})$
21 Mai	12	0	12,9453	17°,0	1501	0,6667	**4386** (97)
40° 10' N.	5	1	12,7913	13°,335	1501	0,6483	121
4° 27' E.	7	2	12,3488	**12°,90**	**152,0**	0,6323	226
	9	3	12,0683			0,6150	340
22 Mai	9	0	13,2878	19°,1	1501	0,6662	**4383** (97)
40° 32' N.	12	1	12,9188	14°,63	1500	0,6465	130
4° 43' E.	5	2	12,8457	**12°,90**	**152,0**	0,6295	241
	7	3	12,4393			0,6136	346
23 Mai	7	0	13,3930	18°,4	1501	0,6657	**4380** (97)
40° 21' N.	9	1	13,1757	15°,255	1500	0,6468	124
4° 31' E.	12	2	12,8661	**12°,90**	**152,0**	0,6291	241
	5	3	12,8271			0,6132	345
23 Mai	9	0	13,5633	17°,5	1501	0,6681	**4395** (97)
40° 30' N.	12	1	13,2531	15°,58	1500	0,6493	124
4° 42' E.	5	2	13,2128	**12°,90**	**152,0**	0,6316	240
	7	3	12,8462			0,6156	345
26 Mai	5	0	12,9318	18°,0	1501	0,6559	**4318** (97)
37° 04' N.	7	1	12,4463	13°,41	1497	0,6374	122
0° 58' W.	9	2	12,1635	**12°,90**	**151,9**	0,6198	238
	12	3	11,8042			0,6036	344
24 Mai	12	0	10,1207	17°,2	1129	0,5039	**4412** (25)
40° 10' N.	5	1	10,0935	14°,735	1127	0,4906	116
4° 20' E.	7	2	9,8035	**12°,88**	**114,2**	0,4774	232
	9	3	9,6460			0,4644	346
23 Mai	11	0	24,5963	17°,0	2603	1,1344	**4302** (23)
40° 21' N.	13	1	22,6052	15°,252	2588	1,1049	112
4° 31' E.	4	2	23,5832	**13°,105**	**263,7**	1,0744	228
	10	3	22,3248			1,0464	334
23 Mai	10	0	24,0527	17°,5	2603	1,1394	**4314** (23)
40° 30' N.	11	1	24,2537	15°,622	2600	1,1076	120
4° 42' E.	13	2	22,3293	**13°,105**	**264,1**	1,0799	225
	4	3	23,3314			1,0513	334
23 Mai	4	0	24,7437	17°,0	2601	1,1388	**4315** (23)
40° 30' N.	10	1	23,3894	15°,252	2598	1,1069	121
4° 42' E.	11	2	23,5877	**13°,105**	**263,9**	1,0772	233
	13	3	21,7530			1,0533	324
25 Mai	13	0	23,1497	17°,6	2605	1,1402	**4312** (23)
37° 31' N.	4	1	24,0844	15°,022	2605	1,1060	129
1° 20' E.	10	2	22,7822	**13°,08**	**264,4**	1,0765	241
	11	3	22,9805			1,0486	346
30 Mai	4	0	26,9785	19°,6	2604	1,2012	**4553** (63)
38° 26' N.	10	1	26,0946	15°,60	2600	1,1635	143
10° 17' W.	11	2	26,8776	**3°,14**	**263,8**	1,1287	275
	13	3	25,2244			1,0978	392

Heure et lieu	Piézomètre	Échant. d'eau	Mercure introduit par pression	t_0 t_1 t	Profondeur et Pression	100 $\mu' p$	$10^8 \mu'_0$ $10^8 (\mu'_0 - \mu'_{1,2,3})$
31 Mai	13	0	25,3425	19°,0	2605	1,1978	**4556** (61)
40° 10' N.	4	1	27,0317	16°,082	2573	1,1587	149
11° 29' W.	10	2	26,1547	**3°,19**	**262,9**	1,1245	279
	11	3	26,9288			1,0915	404
1er Juin	11	0	27,0526	18°,2	2604	1,2024	**4556** (63)
42° 49' N.	13	1	25,4367	15°,955	2604	1,1663	137
10° 9' W.	4	2	27,1094	**3°,14**	**263,9**	1,1301	274
	10	3	26,1881			1,0971	399
1er Juin	10	0	26,2535	17°,9	2604	1,2028	**4559** (65)
42° 49' N.	11	1	27,0657	16°,00	2600	1,1643	146
10° 9' W.	13	2	25,3965	**3°,10**	**263,8**	1,1291	279
	4	3	27,0982			1,0971	401
30 Mai	5	0	40,9018	20°,0	4512	2,0298	**4419** (40)
38° 26' N.	7	1	39,9328	15°,17	4509	1,9664	138
10° 17' W.	9	2	39,5743	**2°,525**	**459,3**	1,9079	265
	12	3	38,9195			1,8529	385
31 Mai	12	0	40,4762	19°,3	4513	2,0289	**4429** (40)
40° 10' N.	5	1	40,5864	15°,81	4471	1,9652	139
11° 29' W.	7	2	39,8368	**2°,53**	**458,1**	1,9138	251
	9	3	39,3730			1,8535	383
3 Juin	4	0	43,3470	16°,6	4513	1,9970	**4389**
46° 13' N.	10	1	41,3680	13°,506	4379	1,9347	137
6° 35' W.	11	2	42,0769	**2°,53**	**455,0**	1,8768	264
	13	3	38,9991			1,8233	382
3 Juin	13	0	37,2045	16°,5	4011	1,8218	**4466** (77)
46° 35' N.	11	1	39,1589	13°,92	4011	1,7643	141
6° 40' W.	10	2	37,5618	**2°,55**	**407,9**	1,7130	267
	4	3	38,3748			1,6629	389
2 Juin	4	3	42,6694	17°,0	4512	1,8520	
44° 34' N.	10	3 L	41,3977	14°,61	4512	1,8576	
8° 27' W.	11	3	42,6768	**2°,53**	**459,4**	1,8569	
	13	3 L	40,0758			1,8573	

Il n'y a pas lieu de décrire en détail les mesures effectuées dans le *Sognefjord* en 1905, attendu qu'elles sont rendues en majeure partie superflues par les observations dans l'*Océan Atlantique*. Le rapport entre la compressibilité et la salinité a été étudié de la manière indiquée au moyen de 8 mesures à 1200 m. de profondeur. Chaque mesure a été effectuée avec de l'eau distillée et avec trois échantillons d'eau de mer contenant respectivement 6,31, 13,015, 19,425 °/₀₀ de chlore.

De plus on a effectué 8 mesures à 800 m. de profondeur pour étudier la relation entre la compressibilité et la *teneur en gaz*. Parmi les quatre échantillons d'eau dont on s'est servi à cet effet, un était dépouillé d'air et un saturé d'air à une pression de 180^{mm} de mercure. Les deux autres étaient saturés d'air à 370^{mm}

de mercure, et, à travers l'un de ceux-ci, on avait fait passer un courant d'acide carbonique. La teneur en chlore des échantillons d'eau était respectivement de 19,425, 19,405, 19,41 et 19,40. Les résultats (corrigés pour les légères différences de teneur en chlore) n'ont pas accusé, entre les divers échantillons d'eau, de différences de compressibilité dépendant de la teneur en gaz. Les différences entre les mesures isolées étaient en général inférieures à une unité de la cinquième décimale du volume spécifique ; elles disparurent d'ailleurs dans les valeurs moyennes.

On a effectué également dans l'*Océan Atlantique* une mesure avec des échantillons saturés d'air (Tab. 3, quatre dernières lignes). D'après le journal, la mesure avec le piézomètre 4 était manquée, du fait qu'en rassemblant le mercure introduit par pression on en a, sans doute, perdu une gouttelette. Les autres nombres relatifs aux piézomètres 10, 11 et 13 ne montrent pas de différences, dans la compressibilité, supérieures aux erreurs expérimentales possibles.

Comme, donc, la compressibilité ne dépend pas sensiblement des gaz dissous, on n'a pas poussé plus loin, dans les mesures suivantes, effectuées au Laboratoire, l'étude de l'influence de la teneur en gaz.

III. — Les mesures au Laboratoire

Méthodes et appareils.

Les piézomètres pour ces mesures furent aussi établis en verre d'Iéna 16^{III}, suivant une forme, un peu modifiée, adoptée par Th. W. Richards[1]. Le récipient *A* (Pl. 1, fig. 4) se compose essentiellement d'un tube de 28^{mm} de diamètre extérieur, relié au récipient *B* par une tubulure à paroi épaisse recourbée *C* (diamètre intérieur 3^{mm}). En *e* la tubulure est rétrécie jusqu'à un diamètre interne de $0{,}7^{mm}$ environ et, en ce point, soudé en travers de la tubulure, se trouve un fil de platine très ténu (environ $0{,}07^{mm}$ de diamètre). (On avait sectionné la tubulure à l'endroit le plus étroit, posé le fil de platine sur une des surfaces de sectionnement, puis resoudé les deux parties). En *d* on a soudé un gros fil de platine qui se termine à l'intérieur de la tubulure par une pointe dirigée vers le bas.

Le large tube *A* sert à recevoir l'échantillon d'eau ; la tubulure recourbée *C* est remplie de mercure de telle sorte que le métal dépasse *d* et légèrement *e* ; les deux fils de platine se trouvent ainsi en contact électrique. On intercale alors le conducteur *eCd* dans un circuit électrique et l'on augmente la pression jusqu'à ce que, par suite de la diminution de volume des deux liquides, le circuit soit coupé en *e*. Après avoir fait cesser la pression, on retire le piézomètre du vase de compression et l'on verse une quantité pesée de mercure dans *B*, puis on

[1] Richards and Stull, *New Method for Determining Compressibility*. Carnegie Institution, Publication N° 7, 1903. Cf. aussi Richards, ibid. Publication N° 76, 1907.

augmente à nouveau la pression sans variation de température jusqu'à ce que le contact en e soit coupé. On renouvelle encore deux fois ces opérations. Si l'on connaît les pressions atteintes, on peut calculer la compressibilité de l'eau.

En réalité, on a utilisé simultanément *trois* piézomètres, d'après le principe formulé au premier chapitre. Ces piézomètres étaient enfermés dans trois cylindres d'acier communiquant entre eux. L'un des piézomètres (1) contenait de l'eau distillée à 0° ; les autres (2 et 3) avaient été remplis avec différents échantillons d'eau de mer et mis ensemble dans un bain d'eau de température t. Soient respectivement p_1, p_2 et p_3 les pressions auxquelles les contacts ont été rompus en e dans les piézomètres 1, 2 et 3. La pression p_1 peut être calculée au moyen des équations (3,a) et (6) en fonction des quantités de mercure versées dans le piézomètre 1, et ce piézomètre sert ainsi de mesureur de pression. On mesure les différences $p_2 - p_1$ et $p_3 - p_1$ (qui doivent être rendues petites par une adaptation convenable des quantités de mercure versées) au moyen d'un manomètre différentiel qui sera décrit plus loin.

Une source notable d'erreur dans cette méthode provient des variations de température que subissent les échantillons d'eau lorsqu'on fait varier la pression entre les valeurs p_1, p_2 et p_3. Soient ρ la densité, c_p la chaleur spécifique sous pression constante, e le coefficient de dilatation thermique et T la température absolue du liquide, δp l'accroissement adiabatique de pression (en unités C. G. S.) qu'il subit, et J l'équivalent d'un gramme-calorie dans les mêmes unités. Le liquide subit alors un accroissement de température δt, qui, d'après un théorème connu de Lord Kelvin [1] est

$$\delta t = \frac{Te}{J\rho c_p}\,\delta p$$

La variation adiabatique de volume est donc de

$$e\delta t = \frac{Te^2}{J\rho c_p}\,\delta p$$

moindre que la variation isothermique de volume pour une même variation de pression. Pour une élévation de pression de 1 bar, $\delta p = 10^6$ et, par conséquent, en introduisant $T = 280$, $J = 42 \times 10^6$, $\rho c_p = 1$,

$$e\delta t = 7\,e^2.$$

La quantité e^2 croît rapidement avec la température et la pression et, pour l'eau de mer, à 20° sous 600 bars, elle est environ de 10^{-7}. Pour l'eau distillée à 0°, à toutes les pressions comprises entre 0 et 600 bars, elle est plus petite que que $1{,}5 \times 10^{-8}$. Si les pressions p_1, p_2, p_3 s'écartent de 1 bar de leur moyenne, les variations adiabatiques de température peuvent donc causer des erreurs pouvant aller jusqu'à une unité de la sixième décimale du volume spécifique.

[1] (Sir W. Thomson), *Trans. Roy. Soc. of Edinb.*, XX, p. 283 (1853).

Pour que la méthode choisie puisse donner des résultats précis, il faut, en raison de cette circonstance, que les compressibilités à mesurer soient connues à l'avance d'une manière approximative. Comme les mesures effectuées en mer n'étaient pas complètes, et celles de Tait pas assez précises, on a, dans ce but, entrepris au Laboratoire une série préliminaire de mesures. Puis, aux déterminations définitives, on s'est attaché à rendre aussi faibles que possible les erreurs occasionnées par les variations adiabatiques de température. Bien que l'on n'eût pas pris autant de peine pour cela qu'il aurait peut-être été désirable, les erreurs en question n'ont quand même pu n'être qu'exceptionnellement supérieures à 1 ou 2 unités de la 6e décimale du volume spécifique. Il n'est pas possible de faire une correction ultérieure de ces erreurs.

Le détail des appareils se voit sur le croquis partiellement schématisé de la fig. 5 de la Pl. 1.

La pression était engendrée par une pompe Cailletet[1] de 1000 atm. de charge maxima, fournie par la « Société Genevoise » (Pl. 1, fig. 5). La pompe comportait un manomètre de Schäffer & Budenberg à Magdebourg-Buckau. Le manomètre avait été comparé avec le manomètre normal de cette maison (une balance manométrique à charge de poids) et une table de correction avait été dressée.

De la pompe Cailletet, la pression se propage dans la pièce de distribution V et de là aux trois cylindres de compression Z_1, Z_2, Z_3, ainsi qu'au manomètre différentiel M dont il sera question plus tard. Pour rendre inoffensives les fuites qui se produisent inévitablement par moments dans la pompe, cette dernière était munie d'une vis-soupape au moyen de laquelle la pompe, mais non le manomètre, pouvait être coupée de V. Au moyen de la vis de pression D de la pièce de distribution V on peut faire varier la pression dans des limites étroites, même lorsque la pompe est interceptée.

On suspend le piézomètre sous le couvercle du cylindre de compression, comme sur la fig. 6. Un fil de cuivre isolé i relie le fil de platine d à la goutte de mercure qui se trouve dans la tubulure au-dessus du robinet H. Dans la même goutte de mercure plonge le fil isolé d' passant par le couvercle. Dans les couvercles qui avaient été livrés par la « Société Genevoise » avec le reste de l'appareillage, les fils d' étaient isolés au moyen de colle marine et de bouchons d'ébonite. Cette isolation ne résista cependant pas à la pression, bien que l'exécution en eût été effectuée soigneusement. On a fait pour cette raison appel à une disposition décrite par Amagat (Pl. 1, fig. 6). Le fil d' est coupé en deux et les deux morceaux sont soudés aux deux extrémités d'un cône tronqué très aigu en acier. Le cône fut ajusté dans une tubulure conique en ivoire servant d'isolateur, et cet ensemble fut à son tour ajusté dans un forage conique du couvercle. Les trois parties furent

[1] La pompe a bien fonctionné en général. Toutefois la soupape d'aspiration avait une tendance désagréable à se coincer, ce que l'on pourrait peut-être éviter en lui donnant la forme d'un cône plus obtus.

rodées soigneusement les unes dans les autres. On isola le fil au-dessus du cône au moyen d'un tube en ébonite, au-dessous du cône, au moyen de colle marine. Grâce à cette disposition on n'a jamais constaté de fuite, même à la pression de 1000 atm.

Un des cylindres de compression (Z_1) est représenté en coupe sur la fig. 5. Au fond on a versé du mercure assez haut pour dépasser le point de contact *e* du piézomètre (mais sans arriver jusqu'en *d*). Les fils de platine *e* de tous les trois piézomètres sont de cette manière connectés électriquement avec les parties métalliques de l'appareil compresseur, et, par le fil conducteur *b*, avec le pôle positif d'un élément d'accumulateur *A* de 2 volts. Le fil de platine *d* de chaque piézomètre est connecté électriquement au fil *d'*, comme il a été expliqué plus haut, et de là au pôle négatif de *A*. Sur les trois parcours de raccordement sont intercalées des bobines de fil de grande résistance R_1, R_2, R_3, qui, en attirant une aiguille aimantée servant de relais, mettent en action momentanée une cloche dès que le circuit correspondant est ouvert ou fermé.

Le manomètre différentiel *M* a été construit au Laboratoire. Son organe principal est un tube de Bourdon *B* fourni par la maison Schäffer & Budenberg. A l'extrémité libre du tube est fixée une tige creuse *g* de 35 cm. de long, dont le mouvement de l'extrémité libre est ensuite transmis à un petit miroir *s* et lu au moyen d'une lunette et d'une échelle. Le petit miroir repose par deux pointes d'acier sur une agate fixée à *g*, et, par une troisième pointe sur une deuxième agate ; la disposition est telle que les pointes reposent toujours exactement sur les mêmes points de la première agate.

Le manomètre est utilisable dans les limites d'un intervalle de 100 atm., et cet intervalle peut être déplacé à volonté en soulevant ou abaissant une des agates au moyen de la vis *n*. Le mouvement des deux agates a lieu (géométriquement) autour d'un axe commun *o*, et, dans un même plan avec cet axe, se trouvent aussi les surfaces planes polies des deux agates.

Le manomètre différentiel a été calibré par comparaison avec le manomètre de Schäffer & Budenberg de 50 en 50 kg. par cm^2. Pour une élévation de pression de 1 bar l'agate fixée en *g* se déplace de $0{,}01^{mm}$ environ et la lecture sur l'échelle varie de $2{,}3^{mm}$.

De petites différences de pression ont pu être ainsi mesurées avec une précision de 2 à 3 centièmes d'atmosphère. Ceci correspond à une unité de la sixième décimale du volume spécifique, étant donné que la compressibilité de l'eau est de l'ordre de grandeur de 4×10^{-5}.

Les lectures du manomètre différentiel sont influencées sensiblement par la température, et il a été par suite nécessaire de maintenir celle-ci invariable pendant qu'on effectuait une observation avec les trois piézomètres. Pour cela on a monté le manomètre dans un petit abri en bois, ce qui s'est avéré suffisant. Le contrôle nécessaire a été obtenu en faisant chaque fois l'observation des trois piézomètres à plusieurs reprises et dans les deux ordres de séquence contraires.

Le point de contact *e* des piézomètres décrit ci-dessus s'est révélé très approprié. Le mercure n'avait aucune tendance à s'accrocher en gouttes au fil. L'établissement et la coupure du circuit électrique ont eu lieu dans les limites d'un intervalle d'un dixième d'atmosphère lorsque le piézomètre était rempli de mercure, ce qui correspond à une incertitude de 1 ou 2 unités de la septième décimale dans la détermination du volume.

Détermination du volume du piézomètre.

Pour pouvoir déterminer les volumes des échantillons d'eau, les piézomètres ont été calibrés de la manière suivante. On a rempli d'abord *B*, *C* et *A* de mercure en y aspirant le métal (lentement !) par l'ouverture *e*. Le robinet *H* a été fermé, *B* vidé de son mercure, puis l'on a observé soigneusement dans un bain d'eau la température *t* à laquelle le ménisque du mercure toucha le fil de platine en *e*. On relia alors au moyen d'un tube de caoutchouc le robinet avec un récipient plein d'eau. On ouvrit ensuite légèrement le robinet (le mercure s'écoulant de *A* est remplacé, par suite, par de l'eau) et l'on sortit de *B* une quantité suffisante du mercure qui s'y était écoulé pour que les ménisques du mercure resté en *C* touchent simultanément les fils de platine en *e* et *d*. Les quantités de mercure sorties et restées ont été séchées et pesées chacune à part et la première a été corrigée pour la quantité de mercure contenue dans le robinet. Les volumes spécifiques du mercure ont été pris dans les tables de Landolt et Börnstein (3e édition) et l'on a calculé la dilatation thermique du verre au moyen de l'équation (7), p. 55.

Le Tableau 4 contient, pour les piézomètres 1, 2, 3, les volumes de *A* (entre *H* et *d*) et de *C* (entre *d* et *e*) trouvés de cette manière, tous à 0°. Entre parenthèses, sont données les différentes valeurs (en décimales seulement) des deux mesures, d'où l'on a calculé les valeurs moyennes avec trois décimales.

Tableau 4.

Piézom. No	Volume de *A* à 0°	Volume de *C* à 0°
1	94,575 (,5750 ; ,5753) cm³	0,335 (,3346 ; ,3352) cm³
2	99,837 (,8370 ; ,8370) —	0,349 (,3493 ; ,3493) —
3	98,414 (,4137 ; ,4135) —	0,376 (,3750 ; ,3764) —

Dans le cas où les pressions sont différentes en dedans et en dehors du piézomètre, cette circonstance influera sur le volume de *A*. Pour déterminer la grandeur de cette influence on a rempli complètement un piézomètre de mercure, comme il a déjà été décrit, et l'on a déterminé la température dans trois positions

pour lesquelles le mercure touchait le fil de platine *e*, à savoir : 1) piézomètre vertical, robinet vers le haut ; 2) piézomètre horizontal ; 3) piézomètre vertical, robinet vers le bas. Les trois températures trouvées ont été respectivement 16°,45, 16°,50, 16°,55. Comme la distance de *e* jusqu'au milieu du récipient *A* est d'environ 15 cm. on trouve qu'une différence de pression de 1 cm. de mercure augmente ou diminue le volume du piézomètre de $0{,}05^{mm3}$, suivant le cas. Dans les déterminations de volume décrites ci-dessus le piézomètre rempli de mercure a été maintenu vertical (robinet vers le haut) et les volumes donnés dans le tableau sont, à cause de cela, de 8 millionièmes trop petits. Une erreur de cette grandeur dans le volume d'un piézomètre *pris isolément* n'aurait guère d'importance. Dans le cas qui nous occupe l'erreur se présente avec approximativement la même grandeur dans les volumes des trois piézomètres et n'a, par suite, absolument aucune signification. C'est aussi pourquoi il n'a été apporté aucune correction en ce sens dans le Tableau 4.

Pour remplir un piézomètre on l'a d'abord rempli de mercure, puis, comme pour le calibrage, on a aspiré l'échantillon d'eau par le robinet jusqu'à ce que, à une température déterminée *t*, le ménisque du mercure touche la pointe du fil de platine *d*. On a choisi la température *t* assez haute pour que, à la température fixée pour la mesure, le mercure arrivât jusque dans le large tube *A*. (Voir Pl. 1, fig. 5, Z_1). De cette façon on a obtenu que la différence entre la pression extérieure et la pression intérieure ne varie que très peu par suite de la compression de l'eau. L'erreur engendrée par cette variation n'a pu, en général, excéder une unité de la sixième décimale du volume spécifique et était, en outre, du même ordre de grandeur pour les trois piézomètres. On pouvait donc la négliger.

Compressibilité apparente du mercure.

Pour le calcul des observations il est nécessaire, en raison de l'équation (3,b), de connaître la compressibilité apparente η' du mercure, même si, en ce qui concerne cette valeur, il suffit d'une précision relativement petite.

Pour déterminer η' on a rempli complètement de mercure[1] le piézomètre 3. Il contenait, jusqu'au contact *e*, 1343 gr. de mercure à 0°, et 1339 gr. à 20°. Les résultats des mesures effectuées ensuite sont réunis dans le Tableau 5. La *première* colonne donne la température à laquelle la détermination a été faite ; la *deuxième* le poids du mercure versé en une ou plusieurs portions ; la *troisième* les pressions en bars auxquelles le contact *e* fut rompu, *avant* et *après* que la quantité de mercure eût été versée. La *quatrième* colonne renferme la compressibilité moyenne apparente du mercure, calculée au moyen de l'équation (4) pour 1 bar d'élévation de pression entre les limites données dans la troisième colonne.

[1] Le mercure utilisé au Laboratoire avait été acheté en bouteilles de fer chez Baird and Taidlock. Il a été purifié par contact pendant une année entière avec une solution diluée de nitrate de mercure.

TABLEAU 5.

(Première série de mesures avec du mercure). Piézomètre 3.

Température	Mercure introduit par pression grammes	Intervalle de pression bars	Compressibilité apparente par bar
0°	1,3164	9,8 à 632	$0,0_5 1574$
10°,22	1,3239	3,3 — 612,5	1620
19°,91	0,6675	4,8 — 298	1700
—	1,3259	4,8 — 599	1667

La compressibilité apparente du mercure augmente par conséquent avec la température, et en l'espèce, de 5 à 6 % entre 0 et 20° C. Ce résultat est en contradiction avec les mesures de Richards et Stull[1] d'après lesquelles la compressibilité apparente du mercure ne devait pas être sensiblement différente à 0 et à 20°. Il est vrai que Richards et Stull n'ont pas indiqué l'espèce de verre employée pour leur piézomètres ; mais on ne peut guère imaginer que la compressibilité de ce verre avait un si grand coefficient de température qu'il puisse expliquer le désaccord. A titre de contrôle on a entrepris en avril 1908 quelques nouvelles mesures, mais cette fois avec le piézomètre 1. Dans les nouvelles mesures, on a choisi une plus haute pression de début pour réduire l'influence de l'air éventuellement accroché aux parois de verre. Les résultats sont tombés en bon accord avec ceux de la première série, comme le montre le Tableau 6 ci-dessous.

TABLEAU 6.

(Deuxième série de mesures avec du mercure). Piézomètre 1.

Température	Mercure introduit par pression grammes	Intervalle de pression bars	Compressibilité apparente par bar
0°	0,3994	40,6 à 233,8	$0,0_5 1605$
—	0,8110	40,6 — 435,5	1593
—	1,2453	40,6 — 653,7	1574
20°	1,2533	40,6 — 627,2	1662

En se basant sur les résultats des deux séries de mesures on a calculé la formule suivante pour la compressibilité moyenne apparente η' du mercure entre 0 et p bars dans le verre normal 16^{III} d'Iéna.

$$\eta' = 10^{-8}\,(164 - 0{,}01\,p + 0{,}44\,t). \qquad (8)$$

[1] RICHARDS et STULL, *New Method for Determining Compressibility*, p. 20.

Mesures avec l'eau de mer.

L'eau de mer qui a été utilisée pour les déterminations de compressibilité provenait de l'Océan Atlantique au large de la côte du Portugal (approximativement 45° N., 7° W.), où elle fut puisée le 2 et le 3 juin 1906 à 3000 m. de profondeur ; température 2°,6, $Cl = 19{,}35$, $\sigma_0 = 28{,}10$. Une partie de cette eau a été diluée avec de l'eau distillée pour avoir une teneur en *Cl* de 17,23, d'où l'on a calculé, au moyen des tables de M. Knudsen, $\sigma_0 = 25{,}01$. Cet échantillon sera appelé : eau de mer *A*. Une autre partie (eau de mer *B*) a été concentrée par évaporation à l'air libre à 30° de température jusqu'à une teneur en *Cl* de 21,23 ($\sigma_0 = 30{,}97$). Les deux échantillons ont été agités à 13° C. en contact avec de l'air sous une pression de 75^{mm} de mercure, jusqu'à ce que l'équilibre se fut établi relativement aux gaz dissous, puis versés dans des tubes en verre d'Iéna, (Jenaer Geräte-Glas), pour appareils de 120^{cm3}. Les tubes ont été remplis *complètement* d'eau et fermés au moyen de bouts de tube de caoutchouc et de morceaux de tige de verre, comme le montre la Fig. 7, pour permettre des variations de volume de l'eau. On ne put constater aucune trace de carbonates précipités après l'évaporation ou après la raréfaction de l'air dissous, ni, de même, dans les tubes dans lesquels les échantillons étaient conservés. L'eau distillée avec laquelle les échantillons d'eau de mer ont été comparés par rapport à la compressibilité avait été saturée d'air sous une pression de 20 à 25^{mm} de mercure.

Pour montrer la manière dont les observations ont été effectuées et calculées, je choisirai comme exemple la première des mesures définitives. Le 8 novembre le piézomètre 1 était rempli avec de l'eau distillée, le piézomètre 2 avec de l'eau de mer *A* et le piézomètre 3 avec de l'eau de mer *B* ; les mesures avaient lieu à 0° (voir Tableau 8, première colonne). Dans le piézomètre 1 l'eau arrivait jusqu'à la pointe du fil *d* à 26°,0, dans le piézomètre 2, à 17°,35, et dans le piézomètre 3, à 16°,9. En opérant comme il est indiqué à la page 55, et en utilisant les valeurs données dans le Tableau 4, on arrive à calculer les valeurs réunies dans le Tableau 7.

Tableau 7.

	Volume de l'eau	Poids du mercure	H_0
Piéz. 1 (eau distillée)	94,343 cm^3	7,73 gr.	8,20
Piéz. 2 (eau de mer *A*)	99,632 —	7,54 —	7,57
Piéz. 3 (eau de mer *B*)	98,193 —	8,11 —	8,26

Les nombres de la deuxième colonne donnent les volumes de l'eau contenue dans les piézomètres 1, 2, 3 à la pression atmosphérique et à la température

projetée pour les mesures. Cette température était toujours o° pour l'eau distillée, et dans le cas présent o° pour l'eau de mer aussi. Dans la troisième colonne est calculé le poids de mercure qui, dans les mêmes conditions, se trouve entre l'eau et le fil *e*. La quatrième colonne H_o donne le poids du mercure en grammes par 100 cm³ d'eau, c'est-à-dire divisé par 0,94343, etc.

Après que les piézomètres eurent été placés dans les cylindres de compression et que les bains de température eurent été réglés, on lut à plusieurs reprises sur le manomètre différentiel les pressions auxquelles les circuits électriques 1, 2, 3 étaient coupés et établis. La première et les 3 dernières de ces lectures sont données ci-dessous à titre d'exemple.

Heure après-midi	Lecture du manomètre différentiel en centimètres					
	Circuit 1		Circuit 2		Circuit 3	
	coupé	fermé	coupé	fermé	coupé	fermé
12,15	19,60	19,67	20,01	20,20	20,22	20,21
1,22	19,99	19,98	19,98	19,98	20,23	20,23
1,45	20,00	20,00	19,99	19,98	20,24	20,24
2,10	20,00	20,00	19,99	19,985	20,24	20,24
lecture admise	20,00		19,99		20,24	

Puis on fit à la pression atmosphérique (robinet d'écoulement de la pompe ouvert) la lecture 17,57. On avait calculé, au moyen de la série de mesures préliminaires, des tables auxiliaires donnant les quantités de mercure qui sont introduites par une élévation de pression correspondant à 1 cm. à l'échelle du manomètre différentiel. Elles dépendent du volume du piézomètre, de la salinité et de la température de l'eau, et, enfin, de la pression ; dans le présent cas elles sont respectivement de 0,265, 0,257 et 0,248 grammes. A la pression atmosphérique les piézomètres contenaient donc respectivement $2{,}43 \times 0{,}265 = 0{,}644$, 0,622, 0,662 grammes de mercure au-dessus des contacts *e* (voir Tableau 8, troisième colonne). On versa ensuite dans les piézomètres 1, 2 et 3 respectivement 11,4435, 11,0962 et 10,7422 grammes de mercure (deuxième colonne du tableau) et l'on éleva de nouveau la pression. Quand les circuits électriques 1, 2, 3 furent coupés, on lut au manomètre différentiel respectivement 20,12, 20,11, 20,485. Nous réduirons à la première de ces pressions, que nous désignerons par p_1, les deux autres observations. Le manomètre de Schäffer & Budenberg indiqua à cette occasion 200 bars. Conformément aux tables auxiliaires il s'ensuit que pour une élévation de pression correspondant à 1 cm. au manomètre différentiel, on a introduit par pression dans les piézomètres 2 et 3 respectivement 0,240 et

0,231 grammes de mercure. Le piézomètre 2 contenait par conséquent 0,0024 gramme de mercure en moins, et le piézomètre 3, 0,0843 gramme en excès (troisième colonne, Tableau 8). En se basant sur les chiffres donnés jusqu'ici il ressort, pour une élévation de pression de 0 à p_1 (environ 200 bars), que la quantité de mercure introduite par pression a été de 0,644 + 11,4435 = 12,0875 grammes pour le piézomètre 1, de 0,622 + 11,0962 + 0,0024 = 11,7206 pour le piézomètre 2 et 0,662 + 10,7422 — 0,0843 = 11,3199 grammes pour le piézomètre 3 (quatrième colonne du Tableau 8).

Dans ces calculs, ainsi que dans les calculs suivants, on a pris une décimale de plus que ne le comporte la précision des observations, de façon que les erreurs ne soient pas agrandies par les calculs.

Les mesures ont été poursuivies de la même manière à 400 et à 600 bars environ, et les chiffres correspondants des quatre premières colonnes du Tableu 8 se comprennent sans autre explication. Les mesures ont été alors continuées à des pressions décroissantes (400, 200 et 0 bars). Pour cela, on a sorti d'abord des piézomètres un peu trop de mercure, que l'on a pesé, puis on en a pesé des quantités calculées appropriées que l'on a versé dans les piézomètres pour obtenir la pression désirée. Le 14, le 19 et le 28 novembre ainsi que le 4, le 6 et le 10 décembre (voir le Tableau 9) les mesures ont été effectuées de cette manière à des pressions décroissantes. De telles mesures effectuées le 9 et le 25 novembre étaient défectueuses, et leurs résultats n'ont pas été enregistrés ici.

Tableau 8.

Pression en bars Désignation des échantillons d'eau	Grammes de mercure			Quantité de mercure introduite par pression par 100 cm³ d'eau			Compression apparente multipliée par 100
	versés	en excès	introduit p. pression	Grammes	Par suite de la compression		
					du mercure	de l'eau	
0 bar							
Eau distillée 0°		+ 0,644	0				
Eau de mer *A*, 0°		+ 0,622	0				
Eau de mer *B*, 0°		+ 0,662	0				
200 bars							
Eau distillée 0°	11,4435	+ 0	12,0875	12,8123	0,0068	12,8055	0,94190
Eau de mer *A*, 0°	11,0962	— 0,0024	11,7206	11,7638	63	11,7575	0,86481
Eau de mer *B*, 0°	10,7422	+ 0,0843	11,3199	11,5282	64	11,5218	0,84747
400 bars							
Eau distillée 0°	11,2903	— 0,0184	23,3962	24,7990	0,0211	24,7779	1,82251
Eau de mer *A*, 0°	11,0200	+ 0,0270	22,7112	22,7950	194	22,7556	1,67524
Eau de mer *B*, 0°	10,5406	0	21,9448	22,3486	196	22,3290	1,64239
601 bars							
Eau distillée 0°	10,5245	+ 0,0065	33,8958	35,9282	0,0419	35,8863	2,63958
Eau de mer *A*, 0°	10,2188	0	32,9570	33,0786	386	33,0400	2,43022
Eau de mer *B*, 0°	9,8625	— 0,0510	31,8583	32,4445	386	32,4059	2,38358

Nous admettons maintenant que les dimensions de chaque piézomètre ont été accrues dans une proportion telle que le volume de l'échantillon d'eau sous

Tableau 9.

1907 Date	Température de l'eau de mer	Piézomètre N°	Compression apparente multipliée par 100		
			Eau distillée 0°	Eau de mer *A*	Eau de mer *B*
8 novembre	0°	1, 2, 3	0,94190	0,86481	0,84747
			1,82251	1,67524	1,64239
			2,63958	2,43022	2,38358
22 —	—	1, 3, 2	0,94260	0,86453	0,84826
			1,81968	1,67198	1,64066
			2,63654	2,42632	2,38166
27 novembre	4°,97	1, 3, 2	0,95838	0,85423	0,83971
			1,83545	1,64013	1,61209
			2,65684	2,38024	2,33998
28 —	—	1, 3, 2	0,95471	0,85079	0,83542
			1,83183	1,63675	1,60769
			2,65315	2,37717	2,33577
18 novembre	9°,97	1, 2, 3	0,97327	0,84729	0,83222
			1,86387	1,62784	1,59955
			2,66871	2,33882	2,29887
19 —	—	1, 2, 3	0,96844	0,84298	0,82836
			1,85233	1,61783	1,58990
			2,66538	2,33602	2,29621
3 décembre	—	1, 3, 2	0,94372	0,82121	0,80727
			1,82474	1,59287	1,56627
			2.63830	2,31079	2,27300
4 —	—	1, 3, 2	0,94417	0,82143	0,80757
			1,82459	1,59317	1,56647
			2,63816	2,31110	2,27317
5 décembre	14°,96	1, 3, 2	0,95835	0,81774	0,80692
			1,83375	1,56986	1,54744
			2,64438	2,27360	2,24046
6 —	—	1, 3, 2	0,95005	0,81111	0,79785
			1,82793	1,56662	1,54145
			2,64103	2,27124	2,23565
13 novembre	19°,96	1, 2, 3	0,96452	0,81196	0.79760
			1,84358	1,55738	1,53169
			2,66474	2,25936	2,22338
14 —	—	1, 2, 3	0,95757	0,80479	0,79165
			1,84231	1,55489	1,53016
			2,66225	2,25630	2,22106
9 décembre	—	1, 3, 2	0,95857	0,80539	0,79327
			1,83622	1,54832	1,52520
			2,64660	2,24198	2,20895
10 —	—	1, 3, 2	0,96213	0,80834	0,79599
			1,83667	1,54930	1,52592
			2,64697	2,24233	2,20909

la pression atmosphérique est 100 cm^3 au lieu de celui indiqué dans la deuxième colonne du Tableau 7. Dans cette hypothèse les quantités de mercure introduites par pression et celles que les piézomètres contiennent à la pression atmosphérique varieront dans les mêmes proportions. Les premières quantités figurent dans la cinquième colonne du Tableau 8, les dernières dans la quatrième colonne du Tableau 7 ; elles doivent être introduites respectivement à la place de H et de H_0 dans l'équation (3,a), tandis que pour V on doit introduire la valeur 100.

Dans le cas de l'eau distillée sous 200 bars on a $H_0 = 8{,}20$, $H = 12{,}8123$ et, en raison de l'équation (8), $\pi' = 0{,}0_5162$. Il vient donc

$$p\pi' (H_0 + H) = 200 \times 0{,}0_5162 \times 21{,}01 = 0{,}0068.$$

Cette valeur est donnée dans la 6^e colonne, et le reste $H - 0{,}0068 = 12{,}8055$ dans la 7^e colonne du Tableau 8. Le dernier nombre, multiplié par $h_0/V = 0{,}073554/100$ est, en raison de l'équation (3,a), la compression apparente totale de l'eau ; c'est ce que l'on a inséré dans la dernière colonne du Tableau 8. Les 8 autres valeurs numériques de cette colonne ont été calculées de la même manière. Les résultats de toutes les mesures sont récapitulées dans le Tableau 9 sous une forme plus condensée, en ne faisant figurer que les nombres de la dernière colonne du Tableau 8. Ils sont disposés dans le Tableau 9 sur trois colonnes (de la *quatrième* à la *sixième*), correspondant aux trois échantillons d'eau analysés. La *première* colonne donne la date de chaque série de mesures, la *deuxième* la température vraie (échelle normale) des piézomètres remplis d'eau de mer, et la *troisième* colonne l'ordre de séquence suivant laquelle les piézomètres 1, 2, 3 ont été remplis respectivement avec de l'eau distillée, de l'eau de mer A et de l'eau de mer B. C'est ainsi, par exemple, que le 22 novembre le piézomètre 3 contenait l'échantillon d'eau de mer A et le piézomètre 2 l'échantillon d'eau de mer B, tandis que le 8 novembre c'était l'inverse.

Mesures avec de l'eau distillée.

Pour pouvoir utiliser au maximum les mesures effectuées à la mer, il était nécessaire de connaître assez exactement la compressibilité de l'eau distillée. Une série de mesures fut, pour cette raison, effectuée en février 1908, de la même manière qu'avec l'eau de mer, mais toutefois avec deux piézomètres seulement (1 et 2). Ils étaient remplis tous deux d'eau distillée. Le piézomètre 1 a été toujours comprimé à 0°, le piézomètre 2 à environ 5, 10, 15 et 20°. Les résultats d'observation ont tous été réduits à l'une des trois pressions bien définies, en l'espèce les pressions auxquelles la compression apparente à 0° est égale à 0,009431, 0,018310 ou 0,026327. Les résultats des mesures ainsi réduites sont réunis dans le Tableau 10 qui se comprend de lui-même. Les pressions que l'on trouve dans la première colonne ont été calculées d'après les nombres de la deuxième colonne au moyen de l'équation (6).

Tableau 10.

Pression	Compression apparente de l'eau distillée multipliée par 100				
	0°	4°,97	9°,97	14°,96	19°,96
200,08	0,9431	0,9114	0,8849	0,8642	0,8485
»	»	0,9113	0,8852	0,8648	0,8484
402,56	1,8310	1,7711	1,7218	1,6835	1,6525
»	»	1,7718	1,7218	1,6835	1,6519
598,44	2,6327	2,5497	2,4808	2,4265	2,3830
»	»	2,5497	2,4810	2,4268	2,3828

IV. — Calcul des résultats

Influence de la température sur la compressibilité de l'eau pure.

Au moyen des données de la première colonne et des quatre dernières colonnes du Tableau 10 on peut calculer l'expression ci-dessous de μ', représentant la compressibilité moyenne apparente de l'eau dans le verre 16^{III} d'Iéna entre 0 et p bars et à t_o [1] :

$$10^8\,\mu' = \frac{4886}{1 + 0{,}03181\,p} - 37{,}62\,t + 0{,}700\,t^2 - 0{,}004\,t^3$$

$$+ \frac{p}{1000}\,(12{,}40\,t - 0{,}215\,t^2) - \frac{1{,}5\,tp^2}{1000000} \qquad (9)$$

Le coefficient de t^3 est choisi de telle manière que l'ensemble de l'expression s'accorde le mieux possible avec les résultats des mesures d'Amagat entre 0 et 50°. Ensuite les autres termes dépendant de t ont été calculés au moyen des observations réunies dans le Tableau 10. Pour pouvoir faire accorder l'expression de μ' avec les mesures d'Amagat dans tout le domaine jusqu'à 100 ou 200°, il faudrait ajouter un terme en t^4 qui serait toutefois trop petit pour se faire sentir entre 0 et 20°.

Le Tableau 11 montre les différences entre les valeurs observées et les valeurs calculées au moyen de l'équation (9) de la compression *totale* apparente $\mu' p$ en millionièmes du volume de l'eau.

[1] Il y a lieu de noter que la pression 0 doit s'entendre comme synonyme de pression atmosphérique (cf. p. 47).

Tableau 11.

p	$t = 4°,97$	$t = 9°,97$	$t = 14°,96$	$t = 19°,96$
200,08	+ 1, 0	— 2, + 1	— 3, + 3	— 1, — 2
402,56	— 1, + 6	— 4, — 4	+ 4, + 4	— 2, — 8
598,44	+ 1, + 1	— 4, — 2	+ 1, + 4	— 2, — 4

Des différences positives ou négatives indiquent que la compression observée était respectivement *supérieure* à la compression calculée.

On trouve en outre, au moyen des équations (9) et (2,b), l'expression suivante de la compressibilité *réelle* moyenne μ en se servant de la valeur $0{,}0_5225$ comme compressibilité du verre 16III (cf. p. 48) :

$$10^8\mu = 225 + \frac{4886}{1 + 0{,}0_3183\,p} - 37{,}62\,t + 0{,}700\,t^2 - 0{,}004\,t^3 + \frac{p}{1000}(12{,}50\,t - 0{,}218\,t^2) - \frac{1{,}5\,tp^2}{1000000}. \qquad (10)$$

Le Tableau 12 donne, de la même manière que le Tableau 11, les différences entre quelques valeurs observées par Amagat de la compression totale μp et les valeurs correspondantes calculées au moyen de l'équation (10), mais en *centmillièmes* du volume. On voit que, jusqu'à 50° et 600 bars, ou jusqu'à 20° et 900 bars, l'équation (10) concorde avec les mesures d'Amagat avec une précision qui correspond à la précision de ces dernières mesures. Pour étendre la concordance sur un plus vaste domaine il faudrait ajouter d'autres termes à l'équation (10).

Tableau 12.

p	$t = 0°$	5°	10°	15°	20°	30°	40°	50°	60°
201,6	0	— 2	+ 1	+ 1	+ 5	+ 5	— 1	— 3	+ 6
404,3	— 1	— 10	+ 2	+ 2	+ 2	+ 1	— 8	— 6	+ 14
606,9	— 2	— 2	+ 2	+ 3	+ 3	+ 2	0	+ 16	+ 48
910,9	— 3	— 5	0	+ 1	+ 5	+ 18	+ 29	+ 74	+ 113

Sur la compressibilité absolue de l'eau, du verre normal d'Iéna et du mercure. Proposition de méthode pour mesurer exactement la pression.

Les résultats du présent travail dépendent entre autres de l'expression (5,a) :

$$\mu' = \frac{0{,}0_44886}{1 + 0{,}0_3181\,p} \qquad (5,a)$$

de la compressibilité apparente de l'eau à 0° dans le verre 16III d'Iéna, et de la valeur

$$\nu = 0{,}0_5225$$

de la compressibilité de ce verre. Ou, ce qui revient au même, ils dépendent de la valeur ν et de l'expression de la compressibilité moyenne *réelle* μ de l'eau à 0° :

$$\mu = \frac{0{,}0_44886}{1 + 0{,}0_3183p} + 0{,}0_5225. \qquad (10{,}a)$$

il est par suite important de déterminer l'exactitude de ces valeurs.

La valeur $\nu = 0{,}0_5225$ donnée par R. Straubel, n'a pas été observée directement, mais a été calculée (d'après de bonnes mesures) au moyen de la théorie de l'élasticité. En ceci elle ne doit pas être considérée comme absolument sûre, au moins pas aux hautes pressions. Cependant c'est une circonstance favorable que pour le coefficient de Poisson on n'a pas utilisé dans le calcul une valeur fondée seulement théoriquement, mais que ce coefficient a été calculé au moyen de données expérimentales. A mon avis la valeur $\nu = 0{,}0_5225$ doit par conséquent être considérée comme la plus probable, aussi longtemps que l'on ne disposera pas de bonnes observations directes.

Comme la compressibilité apparente du mercure dans le verre 16III a été déterminée avec une précision suffisante (voir p. 63-64), nous pourrions contrôler la valeur ν si l'on connaissait exactement la compressibilité absolue du mercure.

Richards, aussi bien qu'Amagat, ont entrepris des déterminations de cette grandeur en ne faisant usage que d'observations directes [1].

Richards compare d'abord la compressibilité η du mercure avec celle du fer et du cuivre, et détermine ensuite ces dernières grandeurs en mesurant la diminution de la longueur d'une barre de fer ou de cuivre soumise à des pressions hydrostatiques. Le triple de la compressibilité *linéaire* ainsi obtenue est égal à la compressibilité volumétrique du métal étudié, si la barre de métal utilisée est intérieurement absolument *isotrope*. Par ce procédé il trouve entre 100 et 500 bars, et, si j'ai bien compris, à 20°, la valeur pour le mercure : $\eta = 0{,}0_5379$. Dans les mêmes conditions il vient, en raison de l'équation (8), $\eta' = 0{,}0_5167$, d'où l'on obtient $\nu = \eta - \eta' = 0{,}0_5212$. Cette valeur s'écarte sensiblement de celle que nous avons utilisée. Il n'est cependant pas exclu que l'imparfaite concordance puisse provenir d'une erreur dans la valeur de η. Car, comme il a été rappelé plus haut, cette valeur dépend de la supposition que les barres de fer et de cuivre étudiées par Richards étaient intérieurement absolument *isotropes*. D'après ce qu'en dit Richards (loc. cit. p. 49) il ne semble cependant pas que l'on ait pris des précautions particulières pour réaliser cette exigence.

[1] Th. W. Richards, *The Compressibilities of the Elements and their periodic Relations*. Carnegie Institution Publ. No 76, 1907. Amagat, Annales de Phys. et de Chim. 6e sér. 22, p. 95, 1891.

Amagat, en partant de deux séries différentes de mesures, a trouvé entre 0 et 50 atm. les valeurs suivantes de η : $0,0_5 3904$ et $0,0_5 3933$, ou, par bar, $\eta = 0,0_5 3852$ et $\eta = 0,0_5 3881$. C'est en faveur de ces résultats qu'elles ont été obtenues par comparaison avec la compressibilité du *verre du piézomètre*. Les appareils en verre, sont en effet refroidis lentement pour obvier au danger du bris ultérieur ; par ce traitement les tensions internes s'équilibrent et le verre devient *isotrope*. La compressibilité du verre a été étudiée minutieusement par Amagat, tant par une méthode indirecte que par la méthode directe. Amagat n'indique pas la température du verre et du mercure dans son mémoire, mais Auerbach communique, dans la troisième édition des tables de Landolt et Börnstein, que les mesures ont été effectuées à 0°. Si cette assertion est correcte, l'équation (8) donne : $\eta' = 0,0_5 1635$ et pour $\nu = \eta - \eta'$ les valeurs $0,0_5 222$ et $0,0_5 225$, c'est-à-dire à peu de chose près, la valeur utilisée par nous. Mais, si la détermination de η était faite à 15° environ, la valeur de ν serait plus faible de $0,0_7 7$, c'est-à-dire assez voisine de celle donnée plus haut, calculée à l'aide de la valeur de Richards [1].

Amagat donne la compressibilité des sortes de verre utilisées par lui *à différentes pressions*. La diminution de la compressibilité moyenne avec l'augmentation

[1] *Remarque faite aux épreuves du mémoire original (1908).* Après que le manuscrit eût été envoyé à l'imprimeur, j'écrivis à M. Amagat et obtins de lui les renseignements authentiques suivants.

Les mesures dont il s'agit ont été effectuées non à 0° mais à la température de la chambre. La compressibilité d'une des espèces de verre utilisées (celle du « verre ») a été déterminée à 15°, et la compressibilité apparente du mercure dans un piézomètre de cette matière a été déterminée à 16°. La valeur $\eta = 0,0_5 3852$ se rapporte par suite à peu près à la température de 16°. La compressibilité de la deuxième qualité de verre (le « cristal ») a été étudiée à 22°. La température lors de la mesure correspondante avec du mercure ne peut pas, à présent, être donnée exactement, mais elle ne peut cependant pas avoir été très différente de la valeur 22°. La valeur $\eta = 0,0_5 3881$ se rapporte par suite à peu près à la température 22°. Aux températures 16° et 22°, et pour l'intervalle de pression de 0 à 50 bars, l'équation (8) donne respectivement $\eta' = 0,0_5 1705$ et $\eta' = 0,0_5 1732$. On trouve donc comme résultat des deux mesures d'Amagat presque exactement la même valeur de la compressibilité du verre 16^{III}, à savoir $\nu = 0,0_5 215$.

Les mesures de Richards concordent ainsi d'une manière excellente avec celles d'Amagat, d'autant plus que la différence insignifiante entre les valeurs $\nu = 0,0_5 212$ et $\nu = 0,0_5 215$ peut en partie dépendre des différents intervalles de pression (100 à 500 atm. chez Richards, 0 à 50 atm. chez Amagat). Le doute que j'ai élevé contre les résultats obtenus par Richards, semble par conséquent être injustifié. Par contre la valeur trouvée par Straubel et utilisée par moi, $\nu = 0,0_5 225$, est vraisemblablement *trop forte* de $0,0_6 1$.

Notre valeur de la compressibilité *réelle* de l'eau distillée à 0° ne sera certainement pas sensiblement influencée par cette circonstance. Mais, pour la compressibilité *apparente*, nous obtenons des valeurs qui, en raison de l'erreur ci-dessus mentionnée dans ν, sont *trop faibles* de 2 à 3 millièmes environ ; il en est par suite de même en ce qui concerne les différences de compressibilité entre l'eau à différentes températures ou salinités. Comme nous allons l'exposer, l'équation (5,a) peut, à cause de l'incertitude du mesureur de pression d'Amagat, contenir aussi des erreurs de la même grandeur approximative, et, en effet, pour cette raison, ces valeurs de μ' sont probablement trop fortes. Comme l'erreur en ν agit dans le sens opposé, elle ne grossit par suite pas l'incertitude des résultats définitifs. Dans ces conditions je n'ai pas estimé nécessaire de recalculer les formules et les tables en utilisant la valeur $\nu = 0,0_5 215$.

Avec l'équation (8), et au moyen de la valeur $\nu = 0,0_5 215$ et du coefficient de température observée par Winkelman pour le verre 16^{III} (cf. p. 48), on obtient, pour la compressibilité moyenne *réelle* η du mercure à t° et entre 0 et p bars, l'expression que voici :

$$\eta = 10^{-8} (379 - 0,01\, p + 0,45\, t).$$

de pression était beaucoup plus grande pour le « cristal » que pour le « verre », mais, même dans le premier cas, ν n'était que de $0{,}0_7 5$ plus petite pour $p = 2000$ que pour $p = 500$.

Nous pouvons donc considérer la valeur $\nu = 0{,}0_5 225$ comme correcte à une unité près de la septième décimale. (Cf. note 1 de la page précédente).

Parmi les différentes déterminations de la compressibilité de l'eau, celle d'Amagat mérite sans doute la plus grande confiance, en tout cas pour ce qui concerne la précision des mesures de pression. La différence rappelée à la page 49 entre ses résultats au-dessous et au-dessus de 1000 atm. laisse cependant présumer que seuls les trois premiers chiffres du numérateur de l'équation (5,a) peuvent être considérés comme sûrs, même lorsque les mesures utilisées ici (au-dessous de 1000 atm.) sont considérablement plus précises que les autres (au-dessus de 1000 atm.).

Tait a employé un « manomètre à pistons libres » de la même construction qu'Amagat. Il a trouvé pour de l'*eau de puits* des valeurs de μ qui, à 150, 300 et 450 atm., sont plus faibles respectivement de 1/2, 1 et 1 dans la septième décimale que d'après l'équation (10,a). Les valeurs de μ de Tait ne sont calculées qu'avec 7 décimales.

Richards s'est servi comme mesureur de pression d'un manomètre à ressort qui avait été contrôlé par les constructeurs Schäffer & Budenberg à Magdebourg. Il cite pour comparaison avec Amagat les deux valeurs suivantes, qui sont des valeurs moyennes tirées de ses meilleures observations et se rapportant à 20° : entre 100 et 300 kg/cm², $0{,}0_4 4252$, et entre 300 et 500 kg/cm², $0{,}0_4 3958$, le volume de l'eau *à la pression atmosphérique* étant l'unité dans laquelle la compression est calculée.

Si on calcule les valeurs correspondantes au moyen de l'équation (10), mais en kg/cm², on trouve respectivement $0{,}0_4 4252$ et $0{,}0_4 4009$. Le mesureur de pression employé par Richards concorderait donc entre 100 et 300 exactement avec le manomètre d'Amagat, tandis que ses intervalles entre 300 et 500 seraient d'environ 1,3 % plus grands que ceux d'Amagat.

Au moyen de quelques-unes de mes observations, j'ai obtenu, en me servant du manomètre de Schäffer & Budenberg, les valeurs moyennes suivantes de μ' (calculées par bar) $0{,}0_4 473$, $0{,}0_4 456$, $0{,}0_4 4385$ entre 0 et respectivement 200, 400, 600 bars, tandis que l'équation (9) donne les valeurs $0{,}0_4 4716$, $0{,}0_4 4552$, $0{,}0_4 4401$. Mes observations accusent par suite approximativement les mêmes écarts sur les mesures d'Amagat que ceux trouvés par Richards. On pouvait du reste s'y attendre, étant donné que les manomètres utilisés par lui et par moi avaient été comparés avec le même mesureur normal de pression.

Les mesures à la mer décrites au chapitre II apportent une contribution au contrôle, qui n'est pas complètement dénuée de valeur. Les nombres en caractères gras de la huitième colonne du Tableau 3 donnent les valeurs de μ' pour l'eau

distillée, calculées d'après les observations. Ces nombres se rapportent aux températures et aux pressions qui figurent en caractères gras dans la cinquième et la sixième colonne. Les deux dernières décimales des valeurs correspondantes calculées au moyen de l'équation (9) sont indiquées en regard entre parenthèses. On voit que les valeurs observées de μ' sont, sans exception, d'environ $0{,}0_6 1$, c'est-à-dire de 2 à 3 millièmes, *plus faibles* que les valeurs calculées. Cette différence n'est cependant pas beaucoup plus grande qu'il ne pourrait dépendre des déterminations inexactes de la profondeur, même lorsque le fil de sonde a paru absolument vertical. De plus le fil a pu prendre *en profondeur* une position inclinée par suite des courants marins et, dans ce cas, la valeur observée de μ' sera toujours *trop faible.*

Toutes les mesures auxquelles on a fait appel pour le contrôle de l'équation (5,a) donnent donc des valeurs un peu *plus faibles* de μ', en tout cas aux plus fortes pressions. Je suis néanmoins enclin à accorder la plus grande importance aux mesures d'Amagat, avec lesquelles a été calculée l'équation (5,a), et je conserve, pour cette raison, cette équation telle qu'elle est. Par suite du témoignage presque unanime de toutes les mesures citées, l'erreur éventuelle sur μ', pour des pressions allant jusqu'à 500 bars (5000 m. de profondeur), atteindrait au maximum 3 pour mille de la quantité en question. D'après ce qui a été dit à la page 50, l'équation (5,a) permet par suite de *calculer exactement les différences de compressibilité à 3 millièmes près.* Ceci devrait être plus que suffisant pour tous les besoins de l'océanographie.

Pour d'autres fins, une connaissance plus précise de la compressibilité réelle ou apparente peut être importante. En particulier la connaissance de la dernière grandeur, calculée par la méthode décrite ci-dessus, rendrait possible de mesurer exactement de hautes pressions. Pour ce but, la détermination nécessaire de la compressibilité apparente peut être effectuée par une méthode qui a beaucoup d'analogie avec la méthode décrite plus haut ; je profite de l'occasion pour la décrire. Le dispositif de mesure est représenté sur la fig. 8 de la Pl. 1. Z_1 et Z_2 sont deux vases de compression dans lesquels on place les piézomètres P_1 et P_2. K_1 et K_2 sont des fils métalliques insérés à une distance verticale d'environ 20,5 m. et exactement mesurée, dans les deux branches d'un tube en U rempli d'eau et de mercure. Le contact électrique entre le mercure et l'un ou l'autre des fils est signalé indépendamment. P conduit à une pompe Cailletet à vis de pression et robinet de vidange, D_1 et D_2, à des vis de pression, A à un robinet de vidange, et M, à un manomètre différentiel sensible. On remplit d'abord les piézomètres avec de l'eau et autant de mercure qu'il en faut pour que les contacts e (Pl. 1, fig. 4) soient coupés dans P_1 un peu au-dessus de la pression atmosphérique, et dans P_2, à environ 25 atmosphères. On place P_1 dans Z_1, P_2 dans Z_2. A étant ouvert, on pompe au moyen de P jusqu'à ce que — après vissage ou dévissage de D_1 — le mercure touche simultanément K_1 et K_2. La différence de pression entre Z_1 et Z_2 est alors d'environ 25 atmosphères et est exactement connue.

Avec A fermé, on fait varier ensuite au moyen de la vis D_1 la pression de manière que le contact e soit rompu alternativement en P_1 et P_2, et on lit au moyen de M les variations nécessaires de pression, de même que la différence entre celles-ci et la pression atmosphérique. Puis on verse plus de mercure dans P_1 de façon que le contact e soit coupé à environ 50 atm. ; on place P_1 dans Z_2 et P_2 dans Z_1. Par une manœuvre appropriée de P, A, D_1 et D_2 on arrive à ce qu'en vissant à D_1 les contacts K_1 et K_2 soient de nouveau simultanément, e_1 et e_2 presque simultanément, établis ou coupés. Mais le dernier contact est coupé à exactement la même pression qu'à la première mesure. En versant ainsi alternativement dans P_1 et P_2 des portions de mercure, on additionne des pressions qui peuvent être calculées d'une manière facile à comprendre, lorsqu'on connaît assez exactement la densité du mercure et de l'eau (dans le tube en U) aux différentes pressions. Les accroissements correspondants de la compression apparente se calculent d'après les quantités de mercure versées.

La compressibilité de l'eau de mer.

Les résultats des mesures contenus dans le Tableau 9 ont tous été utilisés de la manière que nous allons décrire, en choisissant comme exemple les nombres de la première ligne de ce tableau.

On calcule d'abord la pression p au moyen du nombre contenu dans la quatrième colonne, en supposant correcte l'équation (6). La valeur $M' = 0{,}0094190$ de la première ligne fournit la pression $p = 199{,}74$. En divisant les nombres de la quatrième, de la cinquième et de la sixième colonne par p on obtient trois valeurs de μ', savoir, μ'_0, μ'_A, μ'_B, respectivement pour l'eau distillée à 0° et pour l'eau de mer A et l'eau de mer B à $t°$. On trouve dans la première ligne $\mu'_0 - \mu'_A = 0{,}0_5 3860$ et $\mu'_0 - \mu'_B = 0{,}0_5 4728$. Ces différences doivent, en raison de l'équation (2,b), être multipliées par $1 - p\nu = 1 - 0{,}0_5 225p$, pour obtenir les différences $\mu_0 - \mu_A$ et $\mu_0 - \mu_B$ entre les compressibilités réelles correspondantes. Il vient $\mu_0 - \mu_A = 0{,}0_5 3858$, $\mu_0 - \mu_B = 0{,}0_5 4726$.

Dans le cas qui nous occupe (8 nov.) l'eau de mer A se trouvait dans le piézomètre 2, l'eau de mer B dans le piézomètre 3. Le 22 nov. c'était l'inverse, et, dans ce cas, on a trouvé à 200 bars une plus forte valeur de $\mu_0 - \mu_A$, mais par contre une plus faible valeur de $\mu_0 - \mu_B$ que le 8 nov. En fait on a toujours obtenu une plus forte valeur de μ' lorsque, des deux piézomètres, on employait le premier (n° 2), et la différence était en moyenne de $0{,}0_7 16$. Cette différence ne se laisse pas expliquer par une erreur dans la détermination des volumes des piézomètres, car leur jaugeage avait eu lieu deux fois et l'accord était satisfaisant (voir Tableau 4). Une différence de salinité des échantillons d'eau, qui pourrait expliquer la différence est également exclue. Car les échantillons, après achèvement de chaque série de mesures, étaient sortis des piézomètres en observant

les précautions nécessaires, et l'on a contrôlé par titrage que les teneurs en chlore étaient correctes. On paraît par conséquent contraint d'admettre que la *compressibilité du verre* était différente dans les deux piézomètres. Cette différence dépend peut-être des tensions internes restantes après un vieillissement pas tout à fait satisfaisant. Pour déterminer les différences, on a mesuré simultanément à plusieurs reprises (à 0°) la compressibilité apparente η' du mercure dans les trois piézomètres. L'hypothèse s'est confirmée par ces mesures, η' s'étant avéré chaque fois plus grand dans le piézomètre 2 que dans le piézomètre 3. Les grandeurs des différences trouvées ne sont, il est vrai, pas tout à fait suffisantes pour expliquer les différences en μ' et, d'ailleurs, les différentes valeurs ne concordent pas non plus très bien entre elles. En moyenne on a trouvé η' plus petit de $0{,}0_8 8$ dans le piézomètre 1 que dans le piézomètre 2, et plus grand de $0{,}0_8 2$ que dans le piézomètre 3. Dans les calculs suivants nous admettrons toutefois les différences $0{,}0_7 11$ et $0{,}0_8 5$, qui s'accordent le mieux avec les valeurs calculées de μ' au moyen du Tableau 9. (Il est à noter que seule la différence de compressibilité entre les piézomètres 2 et 3 importe, tandis qu'une différence entre le piézomètre 1 et les autres piézomètres n'entraînera qu'une erreur *constante* et insignifiante dans la compressibilité de l'eau de mer).

Il faut donc augmenter de $0{,}0_7 11$, ou diminuer de $0{,}0_8 5$, les valeurs de $\mu_0 - \mu_A$ et $\mu_0 - \mu_B$ suivant que l'on utilise le piézomètre 2 ou le piézomètre 3. Dans le cas traité à titre d'exemple, $\mu_0 - \mu_A$ doit être augmenté, $\mu_0 - \mu_B$ diminué, c'est-à-dire : $\mu_0 - \mu_A = 0{,}0_5 3869$; $\mu_0 - \mu_B = 0{,}0_5 4721$. Pour toutes les pressions et toutes les températures contenues dans le Tableau 9 les valeurs de $\mu_0 - \mu_A$ et $\mu_0 - \mu_B$ ont été calculées d'une manière analogue. Au moyen de ces valeurs on a calculé ensuite les expressions que voici :

$$\left.\begin{aligned} 10^9\,(\mu_0 - \mu_A) &= 4076 + 291{,}5\,t - 5{,}63\,t^2 + 0{,}04\,t^3 \\ &\quad - \frac{p}{1000}\,[957 + 97{,}7\,t - 1{,}64\,t^2] + \frac{15\,p^2\,t}{1000000} \\ 10^9\,(\mu_0 - \mu_B) &= 4954 + 275{,}3\,t - 5{,}39\,t^2 + 0{,}04\,t^3 \\ &\quad - \frac{p}{1000}\,[1150 + 92{,}5\,t - 1{,}52\,t^2] + \frac{15\,p^2\,t}{1000000} \end{aligned}\right\} \qquad (11)$$

Elles se rapportent à de l'eau de mer pour laquelle σ_0 est respectivement égale à 25,01 et 30,97. Pour l'eau distillée $\sigma_0 = -0{,}13$ et μ est donnée par l'équation (10). En partant de ces expressions, et au moyen de la valeur de μ_0 :

$$10^8\,\mu_0 = \frac{4886}{1 + 0{,}0_3 183\,p} + 225 \qquad (10,a)$$

on a déterminé l'expression suivante pour μ en fonction de p, t et σ_0, à savoir :

$$10^8\mu = \frac{4886}{1 + 0{,}0_3183p} - [227 + 28{,}33t - 0{,}551t^2 + 0{,}004t^3]$$
$$+ \frac{p}{1000}[105{,}5 + 9{,}50t - 0{,}158t^2] - \frac{1{,}5p^2t}{1000000}$$
$$- \frac{\sigma_0 - 28}{10}[147{,}3 - 2{,}72t + 0{,}04t^2 - \frac{p}{1000}(32{,}4 - 0{,}87t + 0{,}02t^2)]$$
$$+ \frac{(\sigma_0 - 28)^2}{100}[4{,}5 - 0{,}1t - \frac{p}{1000}(1{,}8 - 0{,}06t)] \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (12)$$

L'expression est calculée de telle manière qu'au voisinage de $\sigma_0 = 28$ elle représente les valeurs de μ avec le maximum de précision. Dans ce but, on a calculé d'abord les trois premières lignes à l'aide des équations (10) et (11). Puis on y a introduit le terme en $(\sigma_0 - 28)^2$, de façon que μ, pour $\sigma_0 = -0{,}13$, s'adaptât à l'équation (10). Finalement on a corrigé les termes indépendants de σ_0 pour faire à nouveau concorder l'expression complète avec l'équation (11).

Les Tableaux 12, 13 et 14 ci-après donnent les différences $p\bar{\mu} - p\mu$ ou $\bar{\mu} - \mu$ dans lesquelles $\bar{\mu}$ représente des valeurs de la compressibilité entre o et p bars calculées directement ou indirectement au moyen des observations prises individuellement, tandis que μ représente des valeurs calculées au moyen de l'équation (12) dans les mêmes conditions.

La Table 12 se rapporte aux observations sur l'eau de mer faites au Laboratoire. Les températures et les pressions sont données en chiffres ronds. Les séries 1 et 2 désignent les mesures ou l'eau de mer A était contenue respectivement dans les piézomètres 2 et 3. Les valeurs de $\bar{\mu}$ ont été calculées au moyen du Tableau 9, de la même manière que pour la déduction de l'équation (12).

En prenant la première ligne du Tableau 9, par exemple, on trouve, comme il a été décrit plus haut, $p = 199{,}74$; $\mu_0 - \bar{\mu}_A = 0{,}0_53869$; $\mu_0 - \bar{\mu}_B = 0{,}0_54721$. En raison de l'équation (10,a), pour la même valeur de p : $\mu_0 = 0{,}0_449387$, et, donc, $\bar{\mu}_A = 0{,}0_445518$; $\bar{\mu}_B = 0{,}0_444666$. L'équation (12) fournit, pour les valeurs correspondantes de p, t et σ_0, respectivement : $\mu_A = 0{,}0_445501$ et $\mu_B = 0{,}0_444662$. Par conséquent, $\bar{\mu}_A - \mu_A = +\ 0{,}0_717$; $\bar{\mu}_B - \mu_B = 0{,}0_84$, et, par suite, $10^6 \times (p\bar{\mu}_A - p\mu_A) = +\ 3$; $10^6 \times (p\bar{\mu}_B - p\mu_B) = +\ 1$, comme il est donné dans le Tableau 12, première ligne, troisième et sixième colonne.

Lorsque le piézomètre étant disposé pour l'observation à environ la pression atmosphérique, subissait, pendant son introduction dans le cylindre de compression, un heurt, même très léger, il pouvait arriver qu'une gouttelette de mercure fût lancée par l'ouverture e dans le récipient B et ne se réunît pas au reste du mercure. Là où les résultats tendent à indiquer un tel cas, le volume à la pression atmosphérique a été calculé par extrapolation au moyen des observations à 200, 400 et 600 bars. C'est-à-dire que les compressions « observées » à 200, 400 et 600 bars (Tableau 9), ont été augmentées d'une seule et même quantité appropriée. Les valeurs de $10^6 \times (p\bar{\mu} - p\mu)$ non ainsi corrigées sont portées à côté entre parenthèses.

TABLEAU 12. $10^6 \times (p\bar{\mu} - p\mu)$

t	Série	Eau de mer A			Eau de mer B		
		200 bars	400 bars	600 bars	200 bars	400 bars	600 bars
0°	1	+ 3	+ 1	0	+ 1	0	0
0°	2	— 3	+ 1	— 1	— 1	+ 2	— 1
5°	2	— 1 ; — 3	0 ; — 1	— 2 ; + 1	+ 1 ; — 4 (+ 7)	+ 4 ; — 2 (+ 10)	+ 3 ; 0 (+ 9)
10°	1	0 ; — 1	— 1 ; 0	0 ; + 1	— 1 ; + 2	0 ; + 4	+ 3 ; + 5
10°	2	0 ; — 1	0 ; + 4	— 1 ; + 3	0 ; — 1	— 1 ; + 3	0 ; + 3
15°	2	— 1 ; + 4	— 9 ; + 9	— 3 ; + 2	0 ; + 1 (+ 22)	— 7 ; + 5 (+ 15)	— 4 ; — 1 (+ 18)
20°	1	0 ; — 1 (+ 13)	+ 1 ; 0 (+ 14)	— 4 ; 0 (+ 9)	— 1 ; — 2	+ 4 ; 0	+ 2 ; 0
20°	2	0 ; 0	— 7 ; — 2	0 ; + 1	+ 2 ; 0	— 5 ; — 2	+ 2 ; 0

Le Tableau 13 montre, de la même manière, pour l'eau distillée ($\sigma_0 = -0{,}13$) les différences $p\bar{\mu} - p\mu$, où $\bar{\mu}$ est calculé au moyen de l'équation (10) et μ au moyen de l'équation (12). La concordance est en ce cas moins bonne, ce qui tient au fait que, dans le coefficient de $(\sigma_0 - 28)^2$ dans l'équation (12) on n'a pas retenu de termes quadratiques en t.

TABLEAU 13.

$10^6 \times (p\bar{\mu} - p\mu)$ pour l'eau distillée.

Bars	$t = 0°$	$t = 5°$	$t = 10°$	$t = 15°$	$t = 20°$
200	+ 4	— 2	— 5	— 5	0
400	+ 8	— 5	— 11	— 9	— 1
600	+ 11	— 8	— 16	— 14	— 2

Cependant les erreurs en question dans l'équation (12) sont sans aucune importance pour les besoins de l'océanographie, et cela pour les raisons suivantes : 1° elles deviennent, pour de véritable eau de mer, plus petites dans à peu près la même proportion que la pression et que le carré de $(28 - \sigma_0)$; 2° des valeurs de σ_0 qui s'écartent de 28 de plus de trois ou quatre, ne se présentent que dans les profondeurs modérées (p inférieure à 100 environ) ; 3° là où se présentent des valeurs de σ_0 plus petites que 25 environ, la détermination de la sixième décimale du volume spécifique est, en général, inutile à cause de l'hétérogénéité relativement

grande de l'eau ; 4° de plus, une adaptation plus précise de l'équation (12) aux résultats des mesures pour de faibles salinités serait sans doute illusoire, parce que les proportions mutuelles des substances dissoutes ne sont pas exactement les mêmes dans toutes les parties de la mer.

Dans le Tableau 14 on compare les résultats des mesures en mer avec l'équation (12). On a extrait dans ce but de la septième colonne du Tableau 3 les *différences* entre la compressibilité apparente de l'eau pure et des différents échantillons d'eau de mer. En les divisant par la pression on a déduit les différences correspondantes de la compressibilité apparente et on les a portées dans la huitième colonne. C'est ainsi, par exemple, qu'on a calculé au moyen des mesures du 21 mai les valeurs $0,0_5121$, $0,0_5226$, $0,0_5340$. Ces chiffres représentent aussi — jusqu'à des grandeurs qui n'entrent pas en ligne de compte — les différences de la compressibilité *réelle*. Ils se rapportent à des échantillons d'eau de mer à respectivement 6,66, 13,08 et 19,39 °/₀₀ de chlore ; d'où, d'après les tables de M. Knudsen, les valeurs $\sigma_0 = 9,67$, $\sigma_0 = 18,99$, $\sigma_0 = 28,15$. Pour la compressibilité moyenne de l'eau pure à la même température et à la même pression ($t = 12°,90$; $p = 152,0$), on obtient par l'équation (10), $\mu = 0,0_44620$. Si l'on retranche de cette valeur les différences déterminées plus haut, on trouve pour les différents échantillons d'eau de mer respectivement $0,0_44499$, $0,0_44394$, $0,0_44280$. Au moyen de l'équation (12) on trouve, pour les mêmes valeurs de t, p et σ_0 respectivement $0,0_44496$, $0,0_44381$, $0,0_44273$. Si l'on compare celles-ci avec les valeurs observées, on obtient les différences + 3, + 13, + 7 dans la huitième décimale. On les trouve dans la première ligne du Tableau 14. Les autres nombres de ce tableau ont été calculés d'une manière analogue. Les valeurs de t, p et σ_0, qui figurent au-dessus des colonnes sont données en chiffres ronds.

TABLEAU 14. $10^8 \times (\bar{\mu} - \mu)$

$t = 12°,9$; $p = 150$ $p = 114$			$t = 13°,1$; $p = 260$			$t = 3°,1$; $p = 260$			$t = 2°,5$; $p = 460$ $p = 410$		
$\sigma_0 = 10$	$\sigma_0 = 19$	$\sigma_0 = 28$	$\sigma_0 = 10$	$\sigma_0 = 19$	$\sigma_0 = 28$	$\sigma_0 = 10$	$\sigma_0 = 19$	$\sigma_0 = 28$	$\sigma_0 = 10$	$\sigma_0 = 19$	$\sigma_0 = 28$
+ 3	+ 13	+ 7	+ 8	+ 4	+ 4	+ 3	+ 3	+ 9	+ 2	+ 2	+ 1
− 6	− 2	+ 2	0	+ 7	+ 4	− 3	− 1	− 3	+ 1	+ 16	+ 4
0	− 2	+ 2	− 1	− 1	+ 14	+ 9	+ 4	+ 2	+ 3	+ 3	+ 5
0	− 1	+ 3	− 9	− 9	− 8	0	− 1	0	+ 2	+ 4	+ 2
+ 2	+ 1	+ 3									
+ 9	+ 9	+ 4									

Si l'on multiplie par p les différences groupées dans le Tableau 14, il ressort de leur irrégularité que par les mesures à la mer, même la cinquième décimale

du volume spécifique n'a souvent pu être déterminée qu'approximativement. La raison en est probablement que le mercure a pénétré *par gouttes* du récipient *B* dans le récipient *A*.

En ce qui concerne les écarts *systématiques* entre les résultats des mesures en mer et au Laboratoire, le Tableau 14 ne fait apparaître qu'une petite différence *constante* (environ deux unités de la 8e décimale), qui est sans importance pour les usages océanographiques. En moyenne les mesures en mer ont donné, pour l'eau de mer une *plus grande* compressibilité que celle trouvée par les essais au Laboratoire. Ceci peut en partie provenir de la constitution des échantillons d'eau utilisés pour les mesures en mer. Comme nous l'avons déjà rappelé, l'ébullition de ces échantillons avait été poussée un peu trop loin, de sorte qu'une partie des carbonates s'était précipitée.

Les mesures de compressibilité de Tait avaient été effectuées avec de l'eau dont le σ_0 était égal à 27,6 environ (entre 27,3 et 27,9). La formule trouvée par lui pour cette eau se présente comme suit, après introduction de notre unité, le « bar » :

$$10^7 \times \mu = 475 - 0{,}136p + 0{,}000093p^2 - 3{,}36t + 0{,}035t^2 + \frac{p}{1000}(1{,}44t + 0{,}03t^2) - \frac{p^2 t}{1000000}.$$

Pour comparer cette expression avec l'équation (12), nous introduisons dans (12) la valeur $\sigma_0 = 27{,}6$, nous retranchons le résultat de l'expression ci-dessus et nous multiplions par p la différence. On trouve de cette façon les différences entre les résultats de Tait et les miens réunis dans le Tableau 15 :

TABLEAU 15.

$10^5\, p\mu$: Tait moins Laboratoire Central.

p	$t = 0°$	$t = 5°$	$t = 10°$	$t = 15°$
200	0	— 5	— 10	— 17
400	— 8	— 16	— 25	— 34
600	+ 15	+ 1	— 9	— 17

On voit ainsi que la formule de Tait ne donne qu'avec une exactitude approchée la quatrième décimale du volume spécifique.

RÉSUMÉ

L'équation (12) représente le résultat définitif des mesures effectuées au Laboratoire Central, et, au moyen de cette équation, on a calculé des tables qui paraîtront sous forme de publication spéciale. La précision de cette équation

doit être appréciée différemment suivant que l'on cherche, pour une pression déterminée, la *diminution absolue du volume spécifique* de l'eau de mer, ou les *différences* de cette diminution à différentes températures et salinités. Dans le premier cas le grand point est la précision du terme principal (équation 10,a), étant donné que ce terme est le moins précis. J'estime que l'erreur n'excède pas 3 °/₀₀ de la grandeur totale de ce terme. La valeur calculée au moyen de (12) de la diminution du volume spécifique devrait, de ce fait, être correcte à une unité près de la cinquième décimale à 1000 m. de profondeur, et à une unité près de la quatrième décimale à 10000 m. de profondeur.

Dans le second cas, l'important réside en partie dans l'équation (10,a) calculée d'après les mesures d'Amagat, en partie dans mes propres mesures. Une inexactitude dans l'équation (10,a) entraînerait des erreurs qui apparaîtraient dans tous les termes de l'équation (12) avec à peu près la même grandeur relative que dans le terme principal. Ces erreurs peuvent donc s'élever au maximum à environ 3°/₀₀ des grandeurs des différents termes. Il s'y ajoute les erreurs qui proviennent de l'imprécision de mes propres mesures. L'ordre de grandeur possible de ces erreurs peut être évaluée au moyen du Tableau 12. Si l'on admet pour chaque valeur de la pression, de la température et des σ_0, la moyenne des nombres contenus dans ce tableau, on obtient le tableau suivant des valeurs moyennes :

TABLEAU 16. $10^6 \times (p\bar{\mu} - p\mu)$

t	Eau de mer *A*			Eau de mer *B*		
	200 bars	400 bars	600 bars	200 bars	400 bars	600 bars
0	0	+ 1	— 0,5	0	+ 1	— 0,5
5	— 2	— 0,5	— 0,5	— 1,5	+ 1	+ 1,5
10	— 0,5	+ 1	+ 1	0	+ 1,5	+ 3
15	+ 1,5	0	— 0,5	+ 0,5	— 1	— 2,5
20	0	— 2	— 1	0	— 1	+ 1

Ces 30 valeurs moyennes ont été rendues aussi petites que possible par un ajustement de 12 des coefficients de l'équation (12). (Les 6 autres coefficients ont été calculés au moyen des observations faites avec de l'eau distillée). Le nombre des valeurs moyennes observées est, par suite, plus du double de celui des coefficients calculés à l'aide de ces valeurs moyennes. En tenant compte de cette circonstance, je déduis du Tableau 16 que, pour chaque valeur $t = 0, 5, 10, 15, 20$; $p = 200, 400, 600$; $\sigma_0 = 25{,}01$ et $30{,}97$, la compression μp calculée au moyen de l'équation (12) doit être correcte à une unité près de la sixième décimale du volume spécifique, pour autant que l'on ne tienne compte que des erreurs dépendant

du défaut de précision de mes propres mesures. On peut alors conclure avec une grande probabilité que les erreurs correspondantes dans les dérivées

$$\frac{d(p\mu)}{dt} \text{ et } \frac{d(p\mu)}{d\sigma_0}$$

sont respectivement inférieures à $\frac{2}{5} \times 10^{-6}$ et $\frac{2}{6} \times 10^{-6}$. Dans le cas d'une pression moyenne de 400 bars, les dérivées sont elles-mêmes respectivement de l'ordre de grandeur 60×10^{-6} et 50×10^{-6}, et la limite possible de l'erreur relative est, par suite, ordinairement d'environ 1/150. Si l'on y ajoute l'erreur mentionnée ci-dessus, pouvant être provoquée par le manque de précision de l'équation (10,a), on trouve finalement comme limite réelle d'erreur 1/100. C'est-à-dire que *les différences entre les diminutions de volume spécifique que subit l'eau à différentes températures, ou à différentes salinités, sous une même pression, peuvent être calculées au moyen de l'équation (12) à 1 °/₀ près.*

ERRATA

Page	au lieu de	lire
47, équation (1)	$v = 1\left(1 - \frac{\nu_p}{\nu_0}\right)$	$v = \frac{1}{p}\left(1 - \frac{\nu_p}{\nu_0}\right)$
48, 4me ligne au-dessous de l'équation (4)	16II	16III
54, Tableau 2, 2me ligne	159.9	151.9
61, 14me ligne	ouvert	coupé
63, 6me —	0,05mm³	0,05 mm³
65, 10me —	21,23	21,33
65, 13me —	120cm³	120 cm³
67, Tableau 8, 7me col., 5me ligne	22,7556	22,7756
70, 1re ligne au-dessus de l'équation (9)	t_0	t^0
71, 2me — au-dessous du Tableau 11	supérieure	supérieure ou inférieure
71, Tableau 12, 7me col., 1re ligne	— 5	+ 5

TABLE DES MATIÈRES

Pages

Avant-Propos, Introduction 44

I. Généralités sur la méthode et le calcul des mesures 46

II. Les mesures a la mer 50

III. Les mesures au Laboratoire 58

Méthodes et appareils 58

Détermination du volume du piézomètre 62

Compressibilité apparente du mercure 63

Mesures avec l'eau de mer 65

Mesures avec de l'eau distillée 69

IV. Calcul des résultats 70

Influence de la température sur la compressibilité de l'eau pure 70

Sur la compressibilité absolue de l'eau, du verre normal d'Iéna et du mercure. Proposition de méthode pour mesurer exactement la pression 71

La compressibilité de l'eau de mer 76

Examen de l'eau de mer puisée à différentes profondeurs ; variations de ses composés iodés *

Par Armand Gautier

« Dans une précédente Communication[1] j'ai montré que les eaux prises en mer, à la surface ou à faible profondeur, ne contiennent pas trace d'iode à l'état d'iodures ou d'iodates et que la totalité de cet élément, engagé dans des combinaisons complexes, ne devient sensible aux réactifs qu'après fusion à la potasse caustique du résidu laissé par l'eau.

» Je rappelle que j'ai trouvé pour l'eau de l'océan Atlantique, prise à l'entrée de la Manche à 40 kilomètres des côtes et à la surface :

		mgr
Iode (par litre d'eau)	Iode minéral	0,000
	Iode des parties organisées retenues par le filtre de biscuit	0,520
	Iode des combinaisons solubles complexes[2]	1,800
	Total par litre	2,32

» Je viens de faire une étude parallèle pour l'eau de la Méditerranée, prise dans le golfe du Lion, à 11 kilomètres des côtes[3] ; elle m'a conduit à des résultats tout semblables. J'ai trouvé :

		mgr
Iode (par litre d'eau)	Iode minéral	0,000
	Iode des parties organisées retenues par le filtre de biscuit	0,286
	Iode des combinaisons solubles complexes	1,960
	Total par litre	2,246

» Ces résultats établissent que :

» 1° L'eau de la Méditerranée possède, à la surface, une teneur en iode total sensiblement égale à celle de l'océan Atlantique, l'une et l'autre étant puisées loin de toute embouchure de fleuves et en pleine mer ;

» 2° Dans la Méditerranée comme dans l'Atlantique, on ne trouve pas trace d'iodures ou d'iodates dans l'eau de surface ;

» 3° Dans ces eaux de mer l'iode est contenu, partie dans les êtres organisés, partie dans une substance complexe partiellement organique et soluble, azotée, phosphorée et dialysable.

* C. R. Acad. Sciences, 3 juillet 1899, p. 9.

[1] *Comptes rendus*, t. CXXVIII, p. 1069.

[2] Celles-ci sont en partie organiques, mais je réserve le point de savoir si elles sont mélangées ou faiblement unies à des composés minéraux iodés peu solubles, tels que iodosulfates ou iodophosphates de chaux, à peu près comme les chloro- et fluorophosphates de chaux sont unis à l'osséine dans les os.

[3] Eau puisée le 10 mai 1899 à la surface, au droit du rocher de Monaco, par beau temps. Très légère pluie le 4 mai.

» Quelle que soit la nature de cette substance iodée complexe (et j'y reviendrai), j'ai pensé qu'originaire des profondeurs et contenu primitivement dans les eaux de l'océan sous forme minérale l'iode, lorsqu'il arrive dans les régions de la mer riches en êtres vivants aptes à l'assimiler, y passe partiellement ou en totalité à l'état organique. Ce phénomène doit arriver à son maximum dans les régions de la mer où pénètre la lumière, et où peuvent vivre et se reproduire les algues à chlorophylle, sans que la transformation de l'iode minéral en matériaux organiques divers doive nécessairement cesser dans les régions plus profondes où les combinaisons iodées formées à la surface peuvent pénétrer grâce à une lente dialyse, et où d'ailleurs d'autres êtres non chlorophylliens, protozoaires, bactéries, etc. auxquels la lumière n'est pas nécessaire, peuvent aussi modifier les combinaisons minérales de l'iode, comme c'est notoirement le cas pour les spongiaires qui fixent, on le sait, cet élément à l'état organique.

» Si les choses se passent bien ainsi, il s'ensuit que les eaux de mer de la région du plankton peuvent être entièrement privées d'iode minéral (et nous avons établi qu'il en est ainsi, en effet), mais qu'au-dessous, c'est-à-dire à 300^{m} ou 400^{m} de profondeur, on peut espérer, étant donnée la pauvreté des eaux puisées à ces bas niveaux en organismes vivants, trouver une partie de l'iode à l'état primitif, c'est-à-dire à l'état minéral. C'est cette déduction que j'ai voulu soumettre au contrôle de l'expérience.

» Pour examiner l'eau de mer aux diverses profondeurs, j'ai pensé qu'il convenait de s'adresser d'abord aux eaux de la Méditerranée, où la température est presque constante du haut en bas (13°) et où il n'existe, au-dessous de 300^{m}, aucun courant qui mélange mécaniquement les couches supérieures et les couches profondes. Dans ce but, j'ai eu recours à S. A. S. le Prince de Monaco, dont on connaît le zèle éclairé et l'indiscutable compétence en tout ce qui touche à l'Océanographie. Il a bien voulu (et je lui en suis très reconnaissant) me faire faire, sous la surveillance de son distingué directeur de travaux scientifiques, le Dr J. Richard que je remercie, des puisements d'eau prise sur une même verticale, le 10 mai dernier, au droit de Monaco, à 11^{km} de la côte, par 43° 41' N. et 5° 13' E. Ces eaux furent puisées : à 0^{m},50 au-dessous de la surface ; à 780^{m} ; à 880^{m} ; enfin à 980^{m} de profondeur. A cette dernière cote on touchait le fond formé d'un sable argileux roussâtre.

» Il convenait d'abord de se rendre compte de la nature et, jusqu'à un certain point, de la masse des êtres vivants pouvant modifier ces eaux au-dessous de la région proprement dite du plankton. L'échantillon de 2^{lit} d'eau puisé à 780^{m} fut sacrifié pour l'examen de ces êtres et de leurs dépouilles. Dès sa sortie de la mer, cette eau fut additionnée de $\frac{1}{40}$ de son poids de formol, substance qui a la propriété de saisir et insolubiliser les protoplasmas et de fixer les êtres vivants tels qu'ils sont au moment où ils subissent cette sorte d'embaumement. On peut alors reconnaître au microscope si ces êtres étaient vivants, ou du moins si leurs organes et protoplasmas étaient inaltérés au moment du puisement. Les eaux de 780^{m}, ainsi traitées, furent laissées à la cave au repos et dans l'obscurité, siphonées douze jours après, et les couches inférieures centrifugées. Le dépôt total recueilli sur trois verres à microscope ne pesait certainement pas, pour 2 litres, $\frac{1}{15}$ de milligramme, soit $\frac{1}{30}$ de milligramme par litre d'eau de mer prise à 780^{m}. Encore la majeure partie de ce dépôt était-il formé de débris inertes.

» Il fut reconnu, par M. Maxime Cornu et M. R. Blanchard, qui ont bien voulu l'examiner avec soin et auxquels j'adresse l'expression de ma gratitude, ne contenir aucune algue vivante au moment du puisement. On y trouva surtout des débris minéraux lamelleux, des carapaces chitineuses, jaunes et brunes,

paraissant avoir appartenu à des animaux articulés ; des masses informes provenant peut-être de protoplasmas altérés devenus huileux, granuleux, décolorés ; quelques rares spicules d'éponges ; à peine trois à quatre carapaces de diatomées dont quelques-unes à l'état de débris, un foraminifère ; de petites sphères réfringentes paraissant des kystes d'infusoires ou autres protozoaires et quelques bactéries ; enfin un très petit crustacé copépode, visible à la loupe et vivant au moment de la capture.

» En un mot, à ce niveau de 780^{m} au-dessous de la surface de la mer, les algues vivantes ont complètement disparu ; on rencontre seulement des débris minéraux, quelques dépouilles d'animaux inférieurs, de rares crustacés microscopiques, infusoires, protozoaires et bactéries, représentant un poids excessivement faible vis-à-vis des débris qui les accompagnent et *à fortiori* de la masse de l'eau où ils vivent ; et si ces derniers assimilent l'iode, ce ne peut être qu'en quantité minime et proportionnelle à leur très faible poids, qui, d'après mes observations, est inférieure, pour la matière vivante, à $\frac{3}{4000}$ de milligramme par litre d'eau [1]. Dans cette appréciation n'est pas comprise la petite quantité de substance gélatineuse complexe, très iodée, de nature inconnue, qu'arrête le filtre de porcelaine et que nous avons trouvée dans l'eau de mer à toute profondeur, mais moins abondante dans les eaux profondes.

» L'absence totale des algues, même microscopiques, et la très faible masse des autres êtres vivants ainsi constatée à ce niveau de 780^{m}, et *à fortiori* au-dessous, il était intéressant de rechercher l'influence de la disparition de ces êtres sur la composition de l'eau de mer, surtout au point de vue de sa teneur en iode et des formes sous lesquelles peut y être contenu cet élément. C'est ce que nous avons fait.

» Nous avons donc examiné comparativement les eaux puisées à la surface, à 880^{m} et à 980^{m} où l'on touchait le fond.

» Ces échantillons d'eau pris sur la même verticale furent introduits, dès leur sortie de la mer, dans des flacons de 2 litres préalablement rincés à l'eau distillée et bouchés à l'émeri ; ils furent conservés jusqu'au moment de leur examen dans une cave obscure pour éviter les modifications qu'aurait pu provoquer la lumière.

[1] Abstraction faite du poids (0^{mgr},15 environ) du petit crustacé. Le reste de la partie vivante du dépôt de l'eau ne paraît pas supérieur au quinzième de sa masse totale. Ce dépôt étant de $\frac{1}{30}$ de milligramme au maximum par litre, la partie vivante ne représente donc pas plus de 0^{mg},0022 par litre d'eau puisée à 780 mètres.

On est encore très peu renseigné sur les organismes microscopiques, ou très petits, vivant dans la mer à ces profondeurs. On sait seulement qu'à 5 ou 10 kilomètres des côtes, et à la surface, le nombre des bactéries diminue très rapidement ; de 800 à 900 par centimètre cube près du rivage, il tombe à 30 ou 40 au large (Tolomei, 1899, *Bull. Soc. d'agric. et de pêche*, t. XI, p. 124). A 240 milles marins de la côte, E. Fischer a encore trouvé, dans la région du Gulf-Stream, 645 germes ; il n'y avait plus 100 bactéries hors de ce courant (*Plankton-Expedit.*, IV. Bd., 1894 ; A. Fischer, *Vorlesungen über Bacterien*, p. 62, Iena ; 1897). Sur les mêmes points, mais entre 800^{m} et 1100^{m} de profondeur, E. Fischer trouva seulement de huit à douze germes par cent. cube d'eau, soit dix fois moins environ qu'à la surface. Par 1500^{m} à 2400^{m} on peut ne rien trouver de cultivable dans plusieurs centimètres cubes d'eau ou de vase du fond (température de l'eau + 2° à + 5°) ; mais il est possible que les espèces du fond échappent aux conditions de culture où s'était placé E. Fischer.

» On examina ces eaux au point de vue : 1° de leur densité ; 2° du poids du résidu sec ; 3° de leur chlore, brome et iode total ; 4° de leur richesse en iode total et de la nature de leurs divers composés iodés. Ces eaux paraissaient limpides et toutes les opérations furent pratiquées sans filtration préalable.

» *Densité aux diverses profondeurs.* — Cette densité fut prise à 4° et sur 250^{cc} à la fois pour permettre une grande précision. On trouva :

	Densité.	Poids du litre à 4°.
		gr
Surface	1,03014	1030,14
880^{m}	1,03104	1031,04
980^{m}	1,03076	1030,76

» Quoique la densité de l'eau du fond ne soit que légèrement inférieure à celle de l'eau puisée à 100 mètres au-dessus, cette petite différence, qui se traduit par 0^{gr},28 en moins par litre d'eau, est inattendue et nous semble intéressante. La plus faible densité de l'eau du fond a été confirmée, comme on va le voir, par les poids des résidus secs, un peu plus faibles à 980^{m} qu'à 880^{m}, aussi bien que par les dosages de chlore, brome et iode total. Il nous semble très probable que la mer reçoit, sur certains points, et en particulier dans cette partie du golfe du Lion, des eaux émanant de sources profondes, phénomène qui doit se passer surtout aux environs des côtes que bordent, comme dans le cas présent, de hautes montagnes [1]. Le mélange de ces eaux douces avec les eaux de mer ne peut ensuite se faire que très lentement et par dialyse dans un milieu entièrement au repos et à une même température de 13° sur la plus grande hauteur.

» *Résidu sec.* — Il fut pris chaque fois sur 10^{cc} d'eau mesurés à 4° et additionnés de 0^{gr},02 de carbonate de soude sec [2] pour éviter les pertes dues à la dissociation à chaud du chlorure de magnésium ; la dessication fut faite au bain-marie, puis à 105°, jusqu'à constance de poids. On trouva :

	Résidu sec par litre d'eau.
	gr
Surface	43,40
880^{m}	44,78
980^{m}	43,41

» Ces poids sont remarquablement élevés. Le résidu sec par litre d'eau est de 35^{gr} à 38^{gr},5 pour l'océan Atlantique, à la surface. Laurent a trouvé pour l'eau de la Méditerranée, près Marseille, 40^{gr},7. Mais nos trois pesées se contrôlent. On remarquera encore ici que l'eau du fond est un peu moins concentrée qu'à 100 mètres au-dessus.

» *Chlore-brome-iode.* — La totalité du chlore, brome et iode fut dosée par poids, toujours dans un même volume d'eau à 4°. On obtint :

	Chlorobromoiodure d'argent par litre.	Calcul (théorique) en sel marin.
	gr	gr
Surface	0,8579	34,92
880^{m} de profondeur	0,8844	35,99
980^{m} »	0,8767	35,68

[1] Toute cette partie de la côte du golfe du Lion forme, on le sait, le contrefort des Alpes, et les sources d'eaux douces y ont été signalées, même en mer. Dans sa Géographie de *La Terre* (vol. II, 4^{e} édit., ; 1881) Élisée Reclus écrit page 7 : « Ainsi M. Villeneuve-Flayosc a découvert dans le golfe de Cannes une source d'eau douce jaillissant du fond d'une espèce de puits dont les parois ont 27 degrés d'inclinaison ».

[2] Poids soustrait ensuite par le calcul de chaque résidu.

« Le sel marin ainsi calculé est sensiblement supérieur à la réalité, tout le chlore des chlorures alcalino-terreux étant ici transformé arbitrairement, par le calcul, en chlorure de sodium. Mais on voit encore une fois les principaux sels de l'eau de mer plus abondants dans la couche de 880m qu'au-dessous et au-dessus.

» *Composés iodés.* — Pour la recherche des corps iodés, l'eau fut analysée trois jours après son puisement ; elle n'avait qu'entrevu la lumière au moment de son transvasement. Il était important en effet d'éviter les modifications que, sous son influence, les êtres vivants pouvaient lui faire subir. Les matières en suspension, vivantes ou non, furent séparées par le filtre de biscuit de Sèvres en pleine obscurité. On dosa ensuite l'iode sous ses trois formes, comme il a été dit dans une Note antérieure [1]. On trouva :

		Iode par litre.
		mgr
Surface	Iode retenu par le filtre de biscuit (matière glaireuse, parties insolubles, êtres vivants)	0,286
	Iode entièrement ou partiellement organique et soluble	1,960
	Iode minéral (iodures, etc.)	0,000
		2,246
		mgr
880m de profondeur	Iode retenu par le filtre de biscuit (organisé, insoluble, etc.)	0,100
	Iode entièrement ou partiellement organique et soluble	2,130
	Iode minéral (iodures, etc.)	0,150
		2,380
		mgr
980m de profondeur	Iode retenu par le filtre de biscuit (organisé, insoluble, etc.)	0,065
	Iode entièrement ou partiellement organique et soluble	1,890
	Iode minéral (iodures, etc.)	0,305
		2,260

» L'examen de ces nombres donne lieu aux constatations suivantes :

» L'iode *total* est, par litre d'eau, presque constant du haut en bas de la mer, quel que soit le point où l'on puise l'eau.

» L'eau de la Méditerranée paraît légèrement plus pauvre en iode total ($2^{mgr},25$ par litre) que celle de l'océan ($2^{mgr},40$).

» A mesure que l'on monte vers la surface et que les êtres vivants (algues ou protozoaires) s'accumulent dans l'eau de mer, l'iode minéral des profondeurs disparaît : il est de $0^{mgr},305$ par litre, au fond ; de $0^{mgr},150$ seulement à 100 mètres au-dessus ; il a totalement disparu à la surface et probablement bien avant d'y arriver, dans les couches du plankton. C'est la confirmation des idées *à priori* qui nous ont guidé et que nous exposions plus haut.

» Parallèlement, l'iode organisé, en tous cas celui qui est retenu sur le filtre de biscuit, augmente à mesure qu'on s'élève à partir du fond, comme augmente la masse des êtres vivants qui le fixent. De $0^{mgr},065$ par litre d'eau, dans le fond, il passe à $0^{mgr},100$ à cent mètres plus haut et à $0^{mgr},286$ dans les eaux de la surface.

[1] *Comptes rendus*, séance du 1er mai 1899, t. CXXVIII, p. 1069.

» Au contraire, l'iode dissous à l'état de combinaisons complexes est maximum à 880^{m}, mais varie peu du haut en bas. Les substances auxquelles cet iode appartient ne semblent donc pas provenir principalement des êtres vivants, si nombreux à la surface, et si rares à ces profondeurs.

» Quelles que soient les transformations subies par l'eau de mer, en raison de l'action des êtres vivants et de celle de la lumière, il est intéressant de constater que le taux de l'iode reste à peu près constant dans une même quantité d'eau de mer, quelle que soit la hauteur où on la puise, tandis que les formes sous lesquelles apparaissent les combinaisons iodées se modifient très sensiblement de bas en haut.

» Enfin, il est tout à fait remarquable d'observer qu'à toute profondeur existe en proportion plus ou moins variable, mais nullement en rapport avec la masse des êtres vivants qui habitent l'eau de mer, cette matière glaireuse que retient le filtre de porcelaine, matière extrêmement riche en iode et bien digne d'une étude spéciale ».

Méthode nouvelle pour rechercher l'arsenic, et doser, avec précision, jusqu'à un milliardième de ce métalloïde dans les eaux de mer, les eaux minérales, les tissus, etc. *

Par Armand Gautier

La méthode qui m'a permis de découvrir, en 1899, l'arsenic normal dans les tissus de l'homme et des animaux, est d'une exactitude telle qu'elle permet de retrouver ce métalloïde même quand il n'en existe qu'une partie sur 50 à 100 millions de fois le poids de l'organe, un millième de milligramme perdu dans les 100 grammes de muscle ou de foie, par exemple [1]. Mais elle est délicate à appliquer, et surtout elle emploie une série de réactifs qui, tous, contenant une faible trace d'arsenic, comme on va le voir, obligent à tenir compte de cette légère cause d'erreur. J'ai établi que les réactifs employés dans un essai sur 100 à 150 grammes de tissus introduisent 0 milligr. 0005 à 0 milligr. 001 d'arsenic ; près de un millième de milligramme.

D'autre part, cette méthode ne peut pas s'appliquer si l'arsenic est mélangé de grandes quantités de chlorures solubles ou de sels de fer, comme dans les eaux de mer, le sel marin, les viandes salées, les minerais ferrugineux.

* C. R. Soc. Biol., 18 juillet 1903, p. 1025. Cette note fait double emploi avec la note suivante plus complète à laquelle le lecteur se reportera (J. R.).

[1] Voir Bull. Soc. chim., 3e série, t. XXIX, p. 639.

La méthode nouvelle que j'emploie aujourd'hui fait disparaître toutes les difficultés. Elle est d'une simplicité très grande et d'une exactitude telle qu'elle dépasse en rigueur tout ce qui a été jusqu'ici obtenu comme mesure, puisqu'elle peut permettre de retrouver et mesurer une quantité qui représente la milliardième partie de la masse d'où on la retire et à laquelle on la compare.

Je n'en donne ici que le principe : lorsque dans une solution arsenicale quelconque on ajoute, après neutralisation, du sulfate ferrique pur d'arsenic, et qu'on porte à l'ébullition, l'arsenic de la liqueur est entraîné en totalité par le sel polyferrique qui s'insolubilise à chaud, et cet entraînement est si parfait que l'on peut retrouver et doser ainsi, par exemple, 1 millième de milligramme ajouté à un litre d'eau pure ou salée, et contenant même des matières organiques, puis enlever très simplement cet arsenic au sel de fer en le dissolvant dans l'acide sulfurique pur et versant directement la solution dans l'appareil de Marsh.

En opérant ainsi, j'ai obtenu, par exemple :

	mgr
Arsenic introduit en 2 litres d'eau	0, 002
Arsenic trouvé	0, 002

Mêmes résultats, si l'on ajoute à l'eau 300 grammes de sel marin pur, du nitre, du sulfate de soude, etc.

On remarquera que 2 millièmes de milligramme d'arsenic en 2 litres représentent bien la milliardième partie de la masse totale où il s'agit de retrouver et doser ce métalloïde.

Ceci établi, j'ai dosé l'arsenic dans une série de corps où je n'avais pu réussir à le doser jusqu'ici, en particulier dans les eaux de mer. Voici d'abord quelques résultats relatifs à ces eaux :

			Arsenic par litre. mgr
	Eau distillée à l'alambic de cuivre étamé		0, 001
	Eau distillée dans le verre		0, 0013
	Eau de mer puisée à 30 kilomètres des côtes de Bretagne et à 5 mètres de profondeur		0, 010
Stn. 1394	Eau de mer des Açores ; même verticale (fond volcanique)	10m de profondeur	0, 025
Stn. 1385		1325m de profondeur	0, 010
Stn. 1427		5943m (5 à 6m du fond)	0, 080
	Eau de mer à l'entrée de la Manche ; 30 kilomètres au droit de Lézardieux	Arsenic minéral	0, 010
		Arsenic organique	0, 0009
		Arsenic organisé	indosable
	Eaux salées de Misserey, près Besançon (32gr sel marin par litre)		0, 010

L'arsenic existe dans toutes les eaux potables ou distillées, mais il est surtout abondant dans les eaux salées et les eaux de mer.

Dans celles-ci on le rencontre, comme je l'ai montré pour le phosphore, sous trois états : minéral, organique (soluble) et organisé, ce dernier est contenu en grande partie dans les algues microscopiques du plankton.

Arsenic dans les eaux de mer, dans le sel gemme, le sel de cuisine, les eaux minérales, etc. Son dosage dans quelques réactifs usuels *

Par Armand Gautier

« On savait depuis longtemps que les eaux de mer contiennent une faible proportion d'arsenic ; je viens de m'assurer qu'à la façon du phosphore il y est en partie dissous, en partie organisé et contenu dans les constituants du plankton, tout particulièrement dans les algues microscopiques où il accompagne l'iode [1]. Mais jusqu'ici la difficulté de recueillir la totalité de traces d'arsenic en présence des masses de chlorures de l'eau de mer a rendu impossible pour ces eaux toute détermination exacte, même en bloc, de cet important élément.

» La méthode que j'ai décrite (*voir* p. 158) m'a permis, au contraire, de doser facilement l'arsenic dans les eaux de mer, le sel marin, le sel gemme, les eaux minérales. Dans le but de poursuivre utilement mes recherches sur l'arsenic physiologique normal, je l'ai dosé de même dans l'eau distillée et dans les réactifs généralement utilisés dans ce cas.

» A. *Eau de mer ; sources salées.* — Dans l'eau de mer de l'Atlantique (côtes de Bretagne), j'ai essayé de doser l'arsenic sous ses trois formes : *minéral*, *organique* et *organisé*.

» L'eau filtrée sur biscuit de Sèvres a été additionnée, par litre, de 10 cent. cubes de solution de sulfate ferrique pur d'arsenic [2], portée alors à l'ébullition, saturée d'ammoniaque et filtrée. L'arsenic minéral a été dosé en recueillant le précipité ferrique, le dissolvant dans l'acide sulfurique étendu et versant *directement* dans l'appareil de Marsh, comme il est dit (p. 161) : on dose ainsi l'arsenic minéral. La liqueur où s'était produit ce précipité a été additionnée, après filtration, de 30^{cm3} d'acide nitrique pur et distillée à sec au bain de sable dans une cornue de verre vert [3], munie d'un récipient suivi d'un réfrigérant et d'un tube terminal de Will et Warentrapp garni de solution de potasse pure et chaude, le tout assemblé par rodages à l'émeri. Les vapeurs acides non condensées et le chlore s'échappaient bulle à bulle à travers une solution de potasse pure [4], destinée à recueillir et détruire les vapeurs de chlorure d'arsenic qui pouvaient se produire. Après dessiccation complète et légère calcination du résidu sec de la cornue, la liqueur acide distillée et la solution alcaline des tubes de W. et W., furent mélangées, neutralisées, additionnées de 10^{cm3} de solution ferrique, portées à l'ébullition, etc. On précipite et dose ainsi l'arsenic organique.

* C. R. Acad. Sc., 27 juillet 1903, p. 232-235.

[1] *Comptes rendus*, t. CXXXV, p. 833.

[2] Cette solution ferrique contenait 3og de Fe^2O^3 au litre.

[3] On s'était assuré que dans ces conditions le verre ne cédait pas à l'acide une quantité sensible d'arsenic.

[4] Elle contenait $0^{mg},0044$ de As pour 100 et $0^{mg},0004$ pour la quantité employée.

» Toutes corrections faites des faibles traces d'arsenic introduites par le réactif, cette expérience a donné :

		Pour 1 litre.
A. *Eau de mer puisée à 30km des côtes de Bretagne et à 5m de profondeur.*	*Arsenic minéral*	0mg,009
	Arsenic organique	0mg,0008 (environ)
	Arsenic organisé.....	Indosable en 1 litre
B. Même eau de mer.....	*Arsenic total*	0mg,010

» Les déterminations suivantes sont aussi intéressantes, parce qu'elles ont été faites sur l'eau de l'Atlantique puisée au voisinage des Açores, et *sur la même verticale, mais à différentes profondeurs*. Elles avaient été recueillies, avec toutes les précautions convenues d'avance, par les soins et sous les yeux de son Altesse le Prince de Monaco que je ne saurais trop remercier :

	Eau de l'Atlantique (Açores).	
Sondages.	Profondeur.	As par litre.
		mg
Stn. 1394.....	10m	0,025
Id.	1335	0,010
Stn. 1427 ($t = 20°,7$)	5943 (à 6m ou 8m du fond)	0,080

» Il semble donc que dans les parages volcaniques l'arsenic abonde surtout dans les grands fonds. Nous verrons, en effet, tout à l'heure, que les émanations venues des profondeurs terrestres entraînent avec elles des vapeurs de chlorure de sodium très arsenical. A sa surface, l'eau de la mer s'enrichit moyennement en arsenic grâce peut-être à la fois au plankton qui la peuple et à l'évaporation.

» *Les eaux des sources salées* sont toutes, on le sait, plus ou moins arsenicales, particulièrement les eaux ferrugineuses et les chlorurées sodiques. Ma nouvelle méthode permet d'y doser l'arsenic avec grande précision et rapidité. Le chlorure de sodium n'empêche en rien l'entraînement de l'arsenic par le sel ferrique qui s'insolubilise à chaud. J'en donnerai comme exemple le dosage que j'en ai fait dans l'eau salée de Misserey, près Besançon, eau provenant d'infiltrations naturelles passant sur une couche salifère de 54m d'épaisseur placée à 175m de profondeur. Cette eau est presque saturée de sel dont elle contient 326g par litre. Elle a donné :

Arsenic par litre 0mg,010.

» C'est la richesse en arsenic des eaux de mer de surface à l'entrée de la Manche [1].

[1] J'ai des raisons de penser que l'arsenic et l'iode varient beaucoup dans les eaux de mer même prises sur un même point, et suivant des conditions qui nous échappent encore et n'ont pas de relation sensible avec les saisons.

» B. *Sel marin, sel gemme.* — Il m'a paru probable que le sel marin issu des eaux de mer arsenicales devait contenir une proportion sensible de cet élément. C'est ce que confirment les analyses suivantes :

	Origine.	Arsenic pour 100s de sel.
		mg
Sel blanc fin	Côtes de Bretagne.....	0,003
Sel blanc fin	Sables d'Olonne	0,001
Sel gris de cuisine.	Sables d'Olonne, sur l'Atlantique. { *Partie soluble* .. 0mg,035 ; *Partie insoluble.* 0mg,010 }	0,045
Sel dit *anglais* [1] ..	(Acheté chez Potin à Paris).....	0,015

	Origine.	Arsenic pour 100s de sel.
		mg
Sel gemme.	Stassfurth (très bel échantillon transparent).....	0,0025
Id.	Salines de Saint-Nicolas, près Nancy ..... { *Partie soluble* .. 0mg,009 ; *Partie insoluble.* 0mg,005 }	0,014
Id.	Montagne de sel de Djebel-Amour (Sud-Oranais) (bel échantillon).....	0,005
Chlorure de sodium fondu au rouge (origine inconnue).....		0,030
Chlorure de sodium recueilli dans une fissure volcanique du Vésuve.....		0,175

» Le chlorure de sodium contient donc toujours de l'arsenic, surtout s'il est d'origine volcanique directe et lors même qu'il a été fondu au rouge.

» Nous tirerons de ces analyses un autre enseignement. De tous les sels usuels, le sel gris de cuisine est le plus riche en arsenic.

» Le sel marin me paraît donc constituer l'une des sources principales à laquelle nous puisons tous les jours l'arsenic qui nous est nécessaire et que certains de nos organes emmagasinent avec une surprenante avidité.

.....

.....

Sur l'arsenic normal des tissus vivants et les traces d'iode trouvées dans l'air et dans les eaux. — Quelques rectifications nécessaires [*]

Par A. Gautier

.....

b. Iode des eaux ou de l'air. — Cherchant en 1899 les traces d'iode qui pouvaient exister dans l'air ou les eaux, particulièrement les eaux de mer, je l'y rencontrai sous forme d'iodures solubles et d'algues microscopiques iodées. Je

[1] Ce sel, fin, opaque, paraît mélangé d'une très faible proportion d'épices.

[*] C. R. Acad. Sciences, 2 février 1920, p. 261-262.

publiai le résultat de mes dosages[1]. Plus tard, voulant savoir si l'iode des eaux de mer subit des variations suivant les lieux et les époques, je repris ces recherches à de longs intervalles (1899 et 1909) sur des eaux de mer que S. A. le Prince de Monaco avait bien voulu faire puiser à mon intention en Méditerranée, dans l'Atlantique, etc., à des profondeurs variables pouvant dépasser 4000^{m}. J'ai pu constater que ces eaux contiennent l'iode sous les deux états, soluble ou en suspension, mais je n'ai jamais pu retrouver les proportions que j'en avais trouvé dans la Méditerranée. Dans plusieurs cas, même, la recherche de l'iode dissous dans ces eaux de mer fut complètement négative ; mais dans ces cas encore, je trouvais toujours des traces d'iode à l'état insoluble (Algues ou Plankton).

Je rapprocherai ce résultat, bien singulier, de l'absence complète ou apparente d'iodures dans certaines eaux de mer, des observations faites autrefois par J. B. Boussingault qui, ayant voulu vérifier les recherches de Marchand sur l'iode que celui-ci avait signalé dans les eaux de mer des côtes de Bretagne, ne put y déceler la plus faible trace d'iodure dissous. Moi-même j'avais annoncé, en 1899, qu'à ma grande surprise je ne trouvais pas d'iodures dissous dans les eaux de marais salants de la Méditerranée concentrées par la chaleur solaire.

La radioactivité des roches *

Par Albert Gockel

. . . . . .

. . . . . .

Tableau XIV

DÉPOTS MARINS

Échantillons de l'océan Atlantique, à l'ouest de l'Espagne

N° de Station	N°	Profondeur en mètres	Teneur en calcaire de l'échantillon porté au rouge	Rayonnement α (p. insoluble dans HCl)	Rayonnement α
Stn. 2912	111	1525	40,2 %	56,0 %	0,0313
— 2864	104	4682	74,2 —	12,1 —	0,0236
— 2866	133	5712			0.0331
— 2868	105	5940	18,3 —	41,8 —	0,0383

[1] *Comptes rendus*, t. 128, 1899, p. 643, 1069, 1196, et t. 129, 1899, p. 9.

* *Die Radioaktivität von Gesteinen*, Jahrb. d. Radioaktivität und Elektronik, VII Band, Heft 4, p. 487-527 (p. 521, trad. de J. Richard, qui a ajouté les numéros de Station et corrigé certains chiffres de profondeurs).

Les 4 échantillons m'avaient été communiqués aimablement par S. A. le Prince de Monaco. Comme il était en tout cas nécessaire de les dessécher complètement, ils ont été faiblement portés au rouge avant leur mise en expérience. Pour l'échantillon 104 la chaleur ne montra aucune influence tandis que pour le n° 105, par la chaleur le rayonnement diminua de 0,0557 à 0,0383. La grande puissance d'occlusion de cet échantillon pour l'émanation tient manifestement à sa grande teneur en argile.

L'examen microscopique montra que les échantillons contenaient de nombreux foraminifères.

Le fait que la radioactivité de ces échantillons dépasse de beaucoup celle des roches sédimentaires plus anciennes (sauf celles à Eozoon de Passau), s'accorde entièrement avec les observations de Joly.

. . . . . .

L'étude expérimentale des courants de l'Atlantique *

Par Jules de Guerne

L'attention des sociétés de géographie, constamment sollicitée par les explorations les plus hardies, se détourne peut-être un peu trop des travaux relatifs à la physique du globe.

L'expérience qui vient d'être faite sur le Gulf-Stream, par S. A. le Prince héréditaire de Monaco, montre bien l'importance des études qui restent à poursuivre dans cet ordre d'idées.

C'est à M. Georges Pouchet que revient l'honneur d'avoir provoqué ces recherches. Depuis longtemps, le savant professeur du Museum, en même temps directeur du laboratoire maritime de Concarneau, avait eu l'occasion d'apprécier par lui-même la valeur des renseignements relatifs à la direction des courants de l'Atlantique. Les élèves de M. Pouchet, ceux-là surtout qui ont eu comme nous la bonne fortune de l'accompagner en mer, conservent le souvenir de plus d'une intéressante causerie sur l'importance des grands courants océaniques pour la dissémination des êtres, pour la migration des poissons, de la sardine en particulier. Plus tard, pendant la Mission de Laponie, diverses observations poursuivies durant tout le cours du voyage, avaient pour point de départ des mêmes préoccupations [1].

* Bull. Union Géogr. du Nord de la France, février 1886, p. 30.

[1] G. Pouchet. *Notes sur les températures de la mer observées pendant la Mission de Laponie.* (Compt. rend. Acad. Sciences, 2 janvier 1882). — Jules de Guerne. *Souvenirs d'une Mission scientifique en Laponie.* (Bull. Union Géogr. Nord, mai-juin 1882). — G. Pouchet et J. de Guerne. *Sur la faune malacologique du Varangerfjord* (Compt. rend. Acad. Sciences, 11 décembre 1882).

M. Pouchet n'attendait qu'une circonstance favorable pour appliquer à ces études la méthode expérimentale. Au reste, notre savant maître, vient d'exposer lui-même le but et la portée du travail accompli [1], nous ne saurions mieux faire que de lui céder la parole.

« Les phénomènes qu'étudie la météorologie constituant un des facteurs essentiels des manifestations de la vie à la surface du globe, on ne s'étonnera point de nous voir aborder une question aussi éloignée en apparence de nos études ordinaires, que celle des courants de l'Atlantique ».

« On lit, on voit répéter partout que le climat doux de la Norvège, comparé à celui de la côte américaine aux mêmes latitudes, est dû à l'influence du Gulf-Stream. C'est l'opinion classique et que partage nombre de personnes compétentes en France et à l'étranger. Le public renchérit à son tour et attribue aux mêmes causes, c'est-à-dire à des courants chauds de la mer, la douceur de la température sur certaines parties de notre rivage français, aux environs de l'embouchure de la Loire et sur tout le périmètre de la Bretagne ».

« Je n'entrerai point ici dans la discussion des faits allégués par les partisans de l'influence des eaux de l'Atlantique comme modificatrices du climat. Il a bien fallu renoncer à suivre depuis le golfe du Mexique jusque sur la côte européenne un courant continu. On convient aujourd'hui que le Gulf-Stream se perd assez vite à la surface de l'Atlantique, mais on a essayé de reporter l'action échauffante qu'il ne pouvait plus avoir, à un autre courant beaucoup moins bien défini, qui lui ferait suite en quelque sorte, et qui ne serait après tout qu'un lent mouvement de translation des eaux de la surface de l'Océan, de l'ouest vers l'est (Findlay 1867) ».

« Dès lors, les conditions d'échauffement par le fait d'une masse d'eau se déplaçant d'un mouvement aussi lent, deviennent fort problématiques, et il se crée en ce moment une opinion qui tendrait à attribuer à la circulation atmosphérique et non à la circulation océanienne les influences calorifiques dont on faisait, il y a quelques années, essentiellement les attributs du Gulf-Stream ».

« La circulation océanienne n'en présente pas moins un intérêt considérable, et si nombre de documents fournis par les épaves ont permis d'en tracer l'économie générale pour l'Atlantique nord, on ne saurait trop demander de ce côté à l'expérimentation ; mais on comprend que de pareilles entreprises exigent des sacrifices pécuniaires en rapport avec la grandeur du but que l'on poursuit et surtout avec l'étendue du champ d'expériences sur lequel on agit. Des circonstances heureuses nous ont permis de tenter dans des conditions presque improvisées une première expérience qu'un succès partiel a déjà couronnée ; il est tel cependant qu'on ne saurait regretter l'argent et la peine dépensés ».

[1] Le Génie civil, 23 janvier 1886, page 180. *Une expérience sur les courants de l'Atlantique.*

« Voici comment j'ai été amené à réaliser cette expérience, grâce au concours pécuniaire de la Ville de Paris et surtout au zèle pour les sciences de S. A. le Prince héréditaire de Monaco ».

« Il y a quelques années, le Conseil municipal de la Ville de Paris m'avait généreusement alloué une somme assez forte pour acquérir aux Açores des pièces importantes manquant aux collections du Muséum d'histoire naturelle. Un reliquat demeura disponible et j'avais résolu de l'employer à une grande expérience sur les courants de l'Atlantique. Sur ces entrefaites, j'eus l'occasion de m'entretenir de ce sujet avec le Prince Albert de Monaco, qui avait déjà fait profiter les sciences d'un précédent voyage accompli sur son yacht à voiles l'*Hirondelle*. Il voulut bien m'offrir de mettre celui-ci une fois de plus au service des intérêts scientifiques et m'annonça qu'il était tout prêt à aller jeter à l'eau lui-même des flotteurs, dans les parages des Açores ».

Les flotteurs, au nombre de 180, sont de trois catégories [1].

1° Dix sphères en cuivre rouge, de 0,30 de diamètre, formées de deux hémisphères rapprochés et vissés sur un joint en caoutchouc au moyen d'écrous très apparents, qui donneront au destinataire éventuel l'idée de les ouvrir.

2° Vingt barils de 16 litres, fabriqués à Tantonville sur le modèle de ceux qu'on emploie pour le transport de la bière, à douves très fortes, cerclés de fer, goudronnés intérieurement.

3° Cent cinquante bouteilles ordinaires fermées par un bouchon de choix coiffé d'un gant en caoutchouc.

Chaque flotteur contient un imprimé ainsi conçu :

*Dans le but d'étudier les courants de la mer, avec l'aide du conseil municipal de la ville de Paris, ce papier a été jeté à la mer par les soins de S. A. le Prince héréditaire de Monaco, à bord de son yacht l'*Hirondelle*, et en sa présence. Toute personne qui trouvera ce papier est priée de le faire parvenir aux autorités de son pays, pour être transmis au gouvernement français, en indiquant, avec le plus de détails possible, le lieu, la date et les circonstances où ce papier aura été trouvé.*

Signé : Albert, Prince héréditaire de Monaco.
G. Pouchet, Professeur au Muséum de Paris.

Suit une rédaction sommaire de cet avis reproduite en russe, norvégien, danois, anglais, allemand, hollandais, espagnol, portugais et maugrabin. Chaque imprimé, qui porte un numéro d'ordre, est détaché d'un carnet à souches, pour que l'authenticité puisse au besoin en être constatée ; il est de plus inclus dans un tube de verre fort, soudé à la lampe, qui le conservera indéfiniment. Ce document est roulé sur lui-même, de telle sorte que, sans briser le tube, on puisse lire son numéro et voir qu'il est polyglotte.

[1] Ces détails sont extraits de la note présentée par le Prince de Monaco à l'Académie des Sciences et publiée dans les *Comptes rendus* — 16 novembre 1885.

La fermeture des sphères de cuivre et des barils a été faite avec le plus grand soin par l'arsenal de Lorient, auquel M. le Ministre de la marine avait bien voulu envoyer des ordres pour cet objet.

Il eut été désirable de constituer d'avance aux sphères métalliques et aux barils un poids spécifique de peu supérieur à celui de l'eau de mer pour éviter l'action du vent ; mais comme il fallait compter avec une immersion de plusieurs mois (six au moins, d'après les faits connus), on devait craindre que l'imbibition du bois, les infiltrations possibles, les productions animales calcaires ne vinssent augmenter la densité du système et le faire couler. Nous avons pensé parer dans une certaine mesure à cet inconvénient en laissant aux sphères métalliques et aux barils un excès de force ascensionnelle contrebalancé par un lest temporaire.

« Pour les sphères on a pris un sac[1] dans le fond duquel on a noué deux litres de sable, puis on a fait avec de la cordelette un étranglement destiné à isoler ce lest. Au-dessus, on a placé la sphère métallique, après quoi le sac était refermé. Nous avons compté qu'à la longue le sac serait pourri, usé, mangé peut-être par les animaux et laisserait alors les sphères en liberté ».

« Pour les barils, le lest se compose d'un fragment de gueuse en fonte de fer dont le poids variait entre 17 et 20 kilog. Ces gueuses, en usage dans la marine, sont toujours percées d'un trou pour passer une corde. A chaque baril fut suspendue une gueuse au moyen d'une anse de fil de fer prise dans deux cerceaux de bois qui seront forcément mangés par les tarets, rompus au bout de quelques mois ».

« Une autre précaution encore a été prise pour les barils. Il ne fallait pas que ceux trouvés à la mer ou au rivage, pussent être employés à quelque usage sans qu'on les eût ouverts et qu'on eût vu le tube scellé renfermant le document imprimé. Il fallait attirer l'attention sur leur contenu, et pour cela, nous les avons remplis de balle d'avoine, qui ne pourra pas manquer d'éveiller la curiosité de ceux qui les repêcheront ».

« L'*Hirondelle*, emportant le matériel de l'expérience, mit à la voile, sous le commandement du Prince Albert en personne, dans les premiers jours de juillet. Il fut convenu que les flotteurs seraient jetés à la mer, dans le nord-ouest de Corvo, la dernière des Açores du côté de l'Amérique ».

Le 9 août 1885, le Prince Albert écrivait à M. Pouchet :

« 20 juillet, arrivée à Fayal.

« 23, à Florès. Intention de continuer vers les régions visées, mauvais temps au-delà des îles, retour à Florès pour préparer un nouvel élan ; relâche à Florès où tout le monde s'intéresse au but de l'excursion dans l'ouest. Mais la mer ne paraît pas commode ici.

« 25 juillet, nouvelle tentative vers le nord-ouest.

« 27 juillet, 6 h. 15 du matin, l'*Hirondelle* est à environ 110 milles dans le N. 27° O. de Corvo, le jet des bouteilles commence par le n° 179 et se poursuit

[1] Pouchet. *Loc. cit.*, p. 181.

de mille en mille jusqu'à 3 h. 40 (bouteille n° 128). 3 h. 50, vient le jet des barils immédiatement suivi du jet des sphères métalliques. Ces deux catégories de flotteurs sont espacés de 2 en 2 milles, et la dernière nous quitte le 28 à 4 h. 39 du matin. Aussitôt la 2me série de bouteilles reprend au n° 126 (le 127 ayant été cassé), jusqu au numéro 99 (9 h. 14). L'intervalle est d'un mille et jusqu'à la fin (1 h. 53 du soir), d'un demi-mille seulement. Les flotteurs, emportés par l'*HIRONDELLE*, sont donc tous à l'eau, sauf un. Ils sont répandus sur une ligne qui court à peu près N. 14° O., longue de 170 milles. L'opération a duré 31 h. 1/2. Tout l'équipage de l'*HIRONDELLE* a mis beaucoup de bonne volonté et même pris un véritable intérêt à toute l'entreprise ».

Le lieu choisi à l'avance pour l'opération, et où le Prince Albert a pu l'accomplir si heureusement, est situé à peu près exactement sur une ligne joignant le détroit de Floride, par lequel le Gulf-Stream se précipite dans l'Atlantique, et l'entrée de la Manche.

Dans la note[1] par laquelle le Prince Albert rendait compte de sa tentative à l'Académie des Sciences il disait :

« Si quelqu'un de ces flotteurs gagne la côte d'Europe, ce qui est probable, s'il parvient aux mains d'une personne éclairée, ce qui est plus difficile, nos prévisions sont que ce double succès se produira entre le 43e et le 50e degré de latitude nord. S'ils devaient tous disparaître, nous ne regretterions pas d'avoir risqué une expérience que nous croyons importante. En tous cas, la précaution prise d'enfermer le document écrit dans un tube de verre scellé à la lampe, assure pour une durée plusieurs fois séculaire l'existence de ce document. Il serait donc possible à la rigueur que, dans un temps éloigné, un de ces tubes fût retrouvé sur quelque plage lointaine ou peu explorée ».

« A la vérité[2] les dernières cartes publiées sur les courants de l'Atlantique semblent indiquer, pour le lieu où ont été jetés les flotteurs, une direction des eaux superficielles les portant vers le sud-est et non simplement vers l'est. Mais nous avions pour baser la prévision en question les indications fournies par certaines épaves connues (bouteille de l'*HIMALAYA*, bouteille du *HERDER*) et enfin cette notion très généralement acceptée aujourd'hui d'une translation ouest-est des eaux de la surface de l'Atlantique portant vers notre côte des eaux relativement chaudes ».

« Nos prévisions jusqu'à ce jour ne se sont pas réalisées. Trois de nos flotteurs ont été retrouvés, mais après une course vers l'est dans laquelle ils ont fortement incliné en même temps vers le sud. Deux bouteilles et un baril ont été repêchés aux Açores mêmes dans les conditions suivantes :

1° Bouteille n° 136, lancée le 27 juillet (lat. 42° 12' N., long. 34° 39' O.). Recueillie le 19 septembre à 10 milles au large du port Saint-Iria ; île San-Miguel.

[1] Compt. rend., 16 novembre 1885.
[2] Pouchet. *Loc. cit.*, p. 181-182.

2° Bouteille n° 133, lancée le 27 juillet (lat. 42° 15' N., long. 34° 39' O.). Recueillie le 17 septembre à 1 mille dans l'est de Porto-Formoso ; île San-Miguel.

3° Baril n° 22, lancé le 27 juillet (lat. 42° 35' N., long. 34° 29' O.). Recueilli le 10 octobre au port de Porto, île Santa-Maria, presque à terre[1].

« Les deux bouteilles recueillies à San-Miguel auraient donc employé cinquante-trois jours (27 juillet — 18 septembre) à parcourir une distance de 420 milles suivant la direction S. 49° E., si on admet que ces bouteilles aient été recueillies au moment de leur arrivée à la côte, soit à raison de 8 milles par 24 heures. Les deux bouteilles jetées le même jour, retrouvées presque à la même date dans les mêmes parages se servent mutuellement de contrôle, et donnent aux renseignements qu'elles apportent une grande valeur comme indication de vitesse et de direction ».

« Le baril trouvé 22 jours plus tard sur Santa-Maria, *presque à la côte*, c'est-à-dire y ayant peut-être échoué déjà et séjourné, n'en fournit pas moins un renseignement utile en montrant que les flotteurs descendus sur San-Miguel semblent continuer leur course vers le sud. On peut supposer que nos flotteurs, après avoir contourné les Açores, ont continué leur route dans la direction des îles du Cap-Vert pour de là traverser l'Atlantique et gagner directement les Antilles, ou tourner indéfiniment dans l'immense et pacifique tourbillon qui porte en géographie le nom de mer des Sargasses ».

« Quoiqu'il en soit, les résultats positifs, bien que partiels, de notre expérience, semblent établir que de la latitude où ont été jetés les flotteurs, c'est-à-dire par le travers du cap Finisterre, pas une goutte d'eau de la surface de l'Atlantique n'arrive sur les côtes de France. C'est un point qui semble désormais bien acquis. Si on admet qu'il existe un courant ou simplement une translation d'eaux plus chaudes de l'ouest vers l'est au niveau des côtes de France, c'est donc au nord du 42e parallèle qu'il faut chercher l'origine de l'échauffement de ces eaux, et tout le monde paraît aujourd'hui d'accord pour admettre que le courant du golfe ne fait plus sentir aucunement son influence au delà du 42e degré de latitude. En réalité, en dehors de la sphère d'action de celui-ci, aujourd'hui bien connue et parfaitement mesurée, il semble que le mouvement des eaux superficielles de l'Atlantique entre les Açores, les îles du Cap-Vert et les Antilles, soit dans une grande mesure fonction des mouvements de l'atmosphère. En comparant la marche de nos flotteurs à la carte des vents de Brault pour le mois de juillet, août et septembre, on verra que leur direction s'accorde assez sensiblement avec celle du courant qui a porté nos flotteurs ».

[1] Le nombre des flotteurs retrouvés est actuellement (20 février 1886) de *huit*, tous sur les Açores. Les derniers ont été recueillis sur des roches où ils etaient échoués probablement depuis quelque temps déjà. L'un des documents imprimes, extrait d'une sphère metallique, est revenu dans un tube de verre, celui-ci encore contenu dans son étui de carton. Cet étui, entièrement intact, atteste l'étanchéité parfaite du joint réunissant les deux moities de la sphère metallique.

« Notre expérience est-elle définitive ? Evidemment non, et tout un programme pour la continuer s'impose de lui-même. Mais ce ne sont pas là des entreprises qu'on peut mener à bonne fin sans de grand frais. Le concours généreux de la ville de Paris, comme on l'a vu, n'a pas suffi ; il a fallu en plus le dévouement d'un propriétaire de yacht, consacrant à l'amour des sciences les loisirs et les dépenses d'une expédition qui n'était en aucune façon un voyage d'agrément. Si ceux qui ont mené à bonne fin cette première tentative, n'ont qu'à s'applaudir des résultats qu'elle a donnés, ils ont surtout l'espérance que de nouveaux et plus puissants moyens d'action, mis en œuvre avec une rigueur scientifique qu'on n'avait pu réaliser pour une expérience en quelque sorte improvisée, seront un jour mis à leur disposition ».

Il y a lieu d'espérer que l'appel de M. Pouchet sera entendu. Déjà plusieurs savants autorisés ont insisté sur l'intérêt que présente ce genre de recherches. C'est d'abord M. le contre-amiral Jurien de la Gravière, président de l'Académie des Sciences qui témoigne le désir de voir le Prince de Monaco persévérer dans la voie où il s'est si heureusement engagé. Plus tard, c'est M. Germain, ingénieur hydrographe de la marine, qui se félicite, en cette qualité, de présider la séance où S. A. le Prince Albert veut bien exposer devant la Société de géographie, les premiers résultats de ses travaux.

« Il est certain, ajoute M. Germain, que les expériences auxquelles le Prince de Monaco vient de se livrer avec autant de soin que de science, contribueront beaucoup à accroître nos connaissances sur le Gulf-Stream et permettront, nous l'espérons du moins, de fixer le programme de nouvelles recherches qu'il est de l'intérêt de toutes les nations maritimes d'encourager et même de provoquer[1] ».

Enfin, un météorologiste des plus distingués, M. de Tastes, qui a beaucoup étudié, dans le but de les appliquer à la prévision du temps à longue échéance, les causes qui influent sur la climatologie européenne, approuve hautement les expériences entreprises et la méthode suivie pour les réaliser.

« La connaissance exacte des limites du Gulf-Stream et de ses dérivés est aujourd'hui très imparfaite et la vieille méthode des bouteilles et des bouées flottantes, trop rarement employée, est encore la meilleure. Les expériences entreprises par M. Pouchet, avec le concours du Prince de Monaco, dans les parages des Açores, sont un premier pas dans cette voie féconde et seront accueillies avec joie et espoir par quiconque s'occupe de météorologie[2] ».

Le suffrage d'hommes aussi compétents n'augmentera en rien le zèle scientifique de M. le professeur Pouchet et de S. A. le Prince Albert, qui nous le savons pertinemment, ne demandent qu'à continuer leurs travaux, mais il entraînera

[1] Société de géographie de Paris. Compt. rend. Séance du 22 janvier 1886, p. 97.

[2] De Tastes. *De l'utilité que présente la connaissance des déplacements du courant du Gulf-Stream, au point de vue de la prévision du temps à longue échéance.* Compt. rend. Acad. Sciences, 7 décembre 1885.

peut-être quelques corps savants, voire même politiques, qui tiendront à honneur, comme le Conseil municipal de la ville de Paris, de favoriser une œuvre de science pure dont il est d'ailleurs permis d'attendre de grands résultats pratiques.

Le nouveau yacht de S. A. le Prince de Monaco.
Exposé sommaire de l'organisation des laboratoires à bord de la PRINCESSE ALICE *

Par Jules de GUERNE

Les Membres de la Société Zoologique suivent depuis longtemps avec le plus vif intérêt les entreprises scientifiques de S. A. le Prince de Monaco. Au moment même où fut décidée la construction d'un navire destiné à remplacer l'*HIRONDELLE*, ils ont eu la bonne fortune d'être parmi les premiers à connaître le yacht dont le Prince a bien voulu leur présenter les plans (séance du 10 juin 1890). Depuis lors, les travaux ont été poussés activement et l'on a pu, le 12 février 1891, procéder au lancement de la *PRINCESSE ALICE*.

Cet évènement, annoncé et commenté d'une façon plus ou moins exacte par les journaux quotidiens, a éveillé dans le monde scientifique une très légitime curiosité. C'est pour la satisfaire, au moins en partie, et pour bien montrer à quel point le yacht de S. A. le Prince de Monaco se distingue de tous les bâtiments analogues [1], que je donne ici l'exposé sommaire de l'organisation des laboratoires du bord [2].

* Bull. Soc. Zool. de France, 24 février 1891, p. 68. Article en grande partie reproduit dans Rev. Biol. Nord de la France, n° 6, mars 1891.

[1] Ce n'est point, à proprement parler, un yacht, et il ne répond qu'en partie à la définition suivante donnée par Littré, d'après Jal (*Glossaire nautique*, Paris, 1848) : « Bâtiment léger, fin, rapide, que les souverains, les princes, les riches amateurs entretiennent dans certains ports pour les promenades en mer, les régates, les promenades d'agrément ». Son origine même le destine à tout autre chose qu'à faire de simples et faciles promenades. Aussi la construction en a-t-elle été confiée à la maison Green, de Blackwall, près Londres, dont les chantiers sont depuis longtemps connus par leurs grands navires.

Les plans, dressés sur les indications du Prince, par l'ingénieur H. T. Clarke, ont été étudiés avec un soin extrême jusque dans les détails. Le bâtiment, bordé en teak sur membrure en acier, présente une très grande solidité. En prévision du poids des treuils, des câbles et des fils d'acier destinés au maniement des engins de pêche et des sondes, le pont a été renforcé de plaques métalliques. D'autre part, cinq cloisons étanches assurent au navire une grande résistance en cas d'accident.

Le yacht mesure 52m60 de longueur totale ; 51m07 de longueur à la flottaison ; 8m20 de largeur au grand bau ; 5m10 de creux sur quille au centre ; son tirant d'eau moyen est de 3m75 et il déplace environ 600 tonnes. C'est un trois-mâts goëlette à voiles carrées (*three masted square-fore-topsail schooner*), muni d'une machine auxiliaire de 350 chevaux, des fameux ateliers de J. Penn et fils, à Greenwich, qui permet d'obtenir, avec l'hélice à deux branches, une vitesse de 9 milles à l'heure. On a la certitude, par ce moyen, de pouvoir travailler, faire route ou entrer dans un port par temps calme ou par vent contraire. Mais sa puissante mâture en magnifiques pins de l'Orégon et la surface de ses voiles (1200 mètres carrés) assurent à la *Princesse Alice* une marche plus rapide sous l'action des moindres brises.

[2] Un plan eut beaucoup facilité ma tâche, mais quelques détails pouvant être modifiés encore au moment même de l'achèvement des travaux, il a paru préférable de n'en pas dresser.

Ils sont au nombre de trois, voire même de quatre, si l'on y comprend la chambre froide destinée à la conservation des pièces anatomiques ou des animaux vivants. Celle-ci occupe le centre de la cale et communique directement par un ascenseur avec les deux laboratoires principaux situés à peu près au milieu du bateau et partiellement superposés. La grande salle de l'intérieur, placée à babord, est éclairée d'un seul côté par quatre grands hublots. Elle est rectangulaire et mesure 4^m90 de large, sur 3^m70 de long ; sa hauteur maximum atteint 2^m35 et sa forme est telle qu'aucun espace n'est perdu, la muraille du navire s'éloignant peu de la verticale dans la région du centre. L'entrée se trouve sur la paroi arrière faisant face à la porte de la cloison étanche avant de la machine. Celle-ci est d'ailleurs séparée du laboratoire, par un corridor, des soutes à charbon et toute la chambre des chaudières, de sorte que la chaleur et les vibrations ne sont guère à redouter.

Le long de la paroi, sous les hublots, s'étend, d'une extrémité à l'autre, à la hauteur de 80 cent., une table, transformée, près de la porte, en évier, toilette et séchoir. La même table supporte dans sa partie médiane un grand coffre métallique destiné à conserver des objets volumineux dans la vapeur d'alcool. Le dessus même de ce coffre forme une sorte d'établi à hauteur d'appui. Sous la table où il repose, se trouve comme une vaste armoire, en tôle boulonnée, s'ouvrant à la partie antérieure seulement et où sont déposés les réservoirs d'alcool. Ceux-ci, tous pareils, sont en métal et se placent dans le coffre susdit sur des appareils à bascule qui suivent les mouvements du roulis et qui sont organisés de manière à ce que le robinet des récipients se dirige constamment de lui-même vers le haut. Dans la cale, la provision d'alcool sera contenue tout entière dans des réservoirs semblables renfermés eux-mêmes dans une soute spéciale, et il suffira de remplacer dans les bascules un récipient par un autre ; plusieurs de ceux-ci seront en usage simultanément pour les alcools de diverses forces. Du reste, une précaution générale sera prise contre la pénétration de l'esprit-de-vin dans le navire en cas d'accident. Le plancher des trois laboratoires est garni, en guise de tapis, d'une feuille de plomb continue qui se relève partout autour des salles, même à l'entrée des ascenseurs et au seuil des portes, jusqu'à 15 cent. environ de hauteur.

Au-delà de l'évier, perpendiculairement à la première table décrite, s'en détache une seconde, dégagée de trois côtés et qui est presque entièrement à roulis. Toutefois, la partie qui fait face au jour demeure fixe. Un peu plus loin, une autre table analogue mais plus longue, s'avance encore dans la pièce (l'intervalle de ces deux tables est occupé par la caisse à alcool). Cette table, fixe dans sa plus grande partie, ne porte une surface à roulis que vers son extrémité libre. On peut s'appuyer sur un cadre solide de trois côtés de ce carré mobile et l'ensemsemble répond ainsi à des besoins différents de ceux que vise l'organisation de la première table. Je ne puis insister sur ces détails et en expliquer ici tout l'intérêt.

Au-delà de la paroi parallèle à celle où s'ouvre la porte, se trouve un bureau avec tiroirs, surmonté d'une bibliothèque. Viennent ensuite des armoires qui se continuent à angle droit sur la cloison opposée aux hublots, jusqu'à l'ascenseur. Après celui-ci s'étend, jusque dans l'angle, la table réservée au garçon de laboratoire. Enfin, la quatrième paroi, jusqu'à la porte d'entrée, est encore garnie d'armoires. Celles-ci ont deux corps dont l'inférieur, à porte pleines, est plus large que le supérieur. Partout, à la réunion des deux corps, existent des tablettes à coulisses sous lesquelles règne une rangée de tiroirs.

Montons maintenant sur le pont. A l'extrémité arrière du *roof* s'étend, sur 5^m11 de long et 3^m15 de large, avec une hauteur de 2^m au milieu, un laboratoire superbe, inondé d'air et de lumière de trois côtés par seize fenêtres et ayant accès sur le pont par deux portes. Entre celles-ci, un établi, l'ascenseur, une armoire. Après les portes, de chaque côté, sous les fenêtres, une très grande table, moitié fixe, moitié à roulis, dont l'organisation m'occupe depuis longtemps. J'ai cherché, pour le cadre central mobile, une combinaison telle qu'on puisse à volonté y placer des fonds de diverses natures, colorés au gré de chacun, des cuvettes si l'on veut, des tamis, des glaces permettant l'éclairage par-dessous, excellente méthode pour la recherche et l'isolement des animaux dans les pêches pélagiques. Contre la paroi arrière, fort bien éclairée également, devait prendre place, sur une caisse métallique servant de réservoir d'eau douce pour les cabines inférieures, un grand aquarium. Mais les difficultés techniques ont fait ajourner sa construction, du moins quant à présent.

Le moment est venu de rentrer dans l'intérieur du yacht où reste à visiter le laboratoire arrière, plus spécialement destiné à l'océanographie, à la photographie, etc. Le plancher a la forme d'un trapèze dont les côtés parallèles mesurent respectivement 3^m et 1^m13 de long, les deux autres côtés ayant chacun 4^m50. La hauteur de la pièce atteint 2^m10 ; mais à cause des formes fuyantes du navire dans cette région, sa largeur sous le pont est beaucoup plus grande qu'au plancher. Ce laboratoire est éclairé d'un côté par trois hublots sous lesquels règne d'un bout à l'autre une table de largeur variable selon la concavité de la paroi. En face de la porte, près du côté le plus court du trapèze, cette table est transformée en un évier particulièrement adapté aux besoins de la photographie.

A droite, sur la petite paroi, se trouvent une toilette à bassin mobile et quelques étagères. La grande surface verticale qui fait face au jour est entièrement garnie d'armoires. Enfin le fond du laboratoire qui s'appuie contre la cloison étanche arrière de la machine, supporte une bibliothèque qui surmonte elle-même une table du milieu de laquelle s'en détache perpendiculairement une autre de grandes dimensions. Cette dernière table occupe tout le milieu de la salle, aucune de ses parties n'est mobile et le bois dont elle est faite est très ordinaire, de façon à ce que l'on y puisse fixer sans inconvénients, à l'aide de vis ou de clous, divers appareils. Ici comme partout dans le navire, l'obscurité est facile à obtenir

grâce aux obturateurs métalliques à vis et garnis de caoutchouc, dont les hublots sont munis. C'est une excellente chose pour les manipulations photographiques et pour recueillir, le cas échéant, quelques observations précises sur les êtres phosphorescents.

Il convient d'ajouter que l'eau distillée est distribuée partout de même que l'eau de mer. La ventilation est organisée également d'une manière spéciale, le chauffage se fait à la vapeur et la lumière électrique sert à l'éclairage du yacht tout entier.

Les détails ci-dessus donnent l'idée des efforts réalisés pour tirer le meilleur parti possible de l'espace réservé aux laboratoires. Mais ils ne suffisent pas, à beaucoup près, pour se rendre compte de la place qu'occupent à bord du navire les aménagements scientifiques. Il faudrait y ajouter la description d'une série très complète de treuils à vapeur, de bobines, d'appareils d'hydrographie, de physique et de pêche extrêmement variés. Certaines particularités des embarcations seraient à noter, de même que l'installation prévue, par beau temps, aux coupées, de postes avancés descendant presque jusqu'à la ligne de flottaison et permettant la récolte directe des petites épaves ou des organismes pélagiques.

Le Prince publiera d'ailleurs quelque jour la Monographie du bâtiment où il lui a été donné d'appliquer nombre de dispositions utiles ou avantageuses que lui a suggérées sa pratique déjà longue des choses de la mer. Au surplus, la continuité des recherches dont l'efficacité augmente sans cesse, grâce à l'expérience acquise et la double qualité du Prince qui mène son navire à la fois comme marin et comme chef d'expédition scientifique, permettent d'augurer favorablement de l'avenir.

La Princesse Alice, nouveau yacht du Prince de Monaco *

LE LANCEMENT — LES LABORATOIRES

(Extraits d'une lettre de M. Jules de Guerne) [1]

... Venus de grand matin au chantier, nous attendons avec impatience les premiers mouvements du yacht ; le voici qui commence à bouger, lentement

* Rev. Biol. Nord de la France, 3e année, n° 6, mars 1891.

[1] Le nouveau yacht que S. A. le Prince de Monaco a fait construire à Londres, sur les chantiers bien connus de la maison Green, d'après les plans de M. l'ingénieur H. T. Clarke, a été lancé le 12 février 1891, à Blackwall, sur la Tamise, avec un plein succès.

Notre collègue et ami, M. Jules de Guerne, chargé des travaux zoologiques à bord de l'*Hirondelle* et dont le Prince s'est assuré le concours pour la publication des résultats de ses belles campagnes scientifiques, veut bien nous permettre d'imprimer quelques extraits d'une lettre, où il nous donne la primeur des détails, fort intéressants, relatifs à l'installation des laboratoires du yacht.

On jugera par ce qui suit, du soin apporté à l'armement scientifique du navire, et chacun pourra voir combien la mise en service d'un instrument de recherches aussi parfait présente d'importance au point de vue des progrès de la Zoologie et de l'Océanographie.

La Direction de la *Revue Biologique* saisit avec empressement l'occasion qui lui est offerte de souhaiter à la *Princesse Alice* le plus heureux avenir et de rendre un public et respectueux hommage à la haute personnalité de S. A. le Prince de Monaco.

soulevé par des centaines de coins qu'enfoncent en cadence un peuple d'ouvriers. La forêt des échafaudages qui l'enserrent s'éclaircit peu à peu et la coque apparaît, fine et forte, tel un soc de charrue propre à labourer l'Océan.

Quelques chaînes seulement retiennent encore à la terre le *berceau* où repose la quille, prêt à glisser sur les plans inclinés qu'envahit déjà la marée montante. Au milieu du silence, le signal est donné.

Sur la proue qui se dérobe, la Princesse Alice brise, suivant l'usage, — en donnant son propre nom au navire — la bouteille de Sherry parée des couleurs de Monaco, et tandis que les assistants recueillent à l'envi les éclats du verre, le yacht se redresse sur les eaux de la Tamise avec une élégance singulière. Chacun se découvre, les *hurrahs* s'élèvent de toutes parts, et dans le groupe principal s'échangent, non sans émotion, de très sincères compliments. Pas un simple curieux, pas un indifférent n'a pénétré ici. Des parents, des amis intimes, quelques fonctionnaires de la Principauté et plusieurs hommes de Science ont été seuls admis avec les constructeurs. Parmi les personnes présentes, il n'en est pas une, qui, pour des motifs divers, n'ait suivi avec le plus profond intérêt l'achèvement du yacht. Et c'est plaisir de voir avec quel empressement sympathique toutes entourent le Prince dont le rêve longtemps caressé se transforme aujourd'hui en une réalité pleine d'espérances.

Ce que la Science attend de la *Princesse Alice*, un maître éminent s'est chargé de le dire et d'exprimer en même temps toute la reconnaissance que les savants doivent au Prince. Plusieurs dans l'assemblée ont sans doute été, comme moi, très vivement touchés, d'entendre John Murray, de l'expédition du *Challenger*, venu tout exprès d'Edimbourg pour le lancement, rendre un hommage mérité à l'intrépide marin qu'aucun obstacle ne décourageait sur la petite *Hirondelle* et qui va maintenant trouver toutes les entreprises faciles sur son nouveau yacht.

Ici, en effet, la sécurité des voyages augmente, absolument comme le champ d'études, en raison même des dimensions du navire. Construit en acier, chêne et teck, sur une cale couverte, celui-ci, présente une solidité exceptionnelle. Le pont a été renforcé de plaques métalliques en prévision du poids des treuils, des câbles et des fils d'acier destinés au maniement des engins de pêche ou des sondes. D'autre part, cinq cloisons étanches assurent au bâtiment une grande résistance en cas d'accident ; des six compartiments ainsi limités, deux peuvent se trouver entièrement remplis d'eau sans entraîner la perte du navire. Je pourrais m'étendre longuement sur les détails techniques pleins d'intérêt pour un marin, mais ce n'est point le cas, et il vous suffira de savoir que le yacht mesure $52^{m}60$ de longueur totale ; $51^{m}07$ de longueur à la flottaison ; $8^{m}20$ de largeur au grand bau ; $5^{m}10$ de creux sur quille au centre ; son tirant d'eau moyen est de $3^{m}75$, et il déplace environ 600 tonnes.

C'est un trois-mâts goëlette à voiles carrées, muni d'une machine auxiliaire de 350 chevaux qui permet d'obtenir avec l'hélice à deux branches, une vitesse

de 9 milles à l'heure. On a la certitude par ce moyen, de pouvoir travailler, faire route ou entrer dans un port par temps calme ou par vent contraire. Mais sa puissante mâture et la surface de ses voiles assurent à la *PRINCESSE ALICE* une marche plus rapide sous l'action des moindres brises.

Parlons maintenant des laboratoires. Ils sont au nombre de trois, voire même de quatre, si l'on y comprend la chambre froide destinée à la conservation des pièces anatomiques ou des animaux vivants. Celle-ci occupe le centre de la cale et communique directement par un ascenseur avec les deux laboratoires principaux situés à peu près au milieu du bateau et partiellement superposés. La grande salle de l'intérieur, placée à babord, est éclairée d'un seul côté par quatre grands hublots. Elle est rectangulaire et mesure $4^{m}90$ de large, sur $3^{m}70$ de long ; sa hauteur maximum atteint $2^{m}35$ et sa forme est telle qu'aucun espace n'est perdu, la muraille du navire s'éloignant peu de la verticale dans la région du centre. L'entrée se trouve sur la paroi arrière faisant face à la porte de la cloison étanche avant de la machine. Celle-ci est d'ailleurs séparée du laboratoire par un corridor, des soutes à charbon et toute la chambre des chaudières, de sorte que la chaleur et les vibrations ne sont guère à redouter.

Le long de la paroi, sous les hublots, s'étend d'une extrémité à l'autre, à la hauteur de 80 cent., une table transformée, près de la porte, en évier, toilette et séchoir. La même table supporte dans sa partie médiane un grand coffre métallique destiné à conserver des objets volumineux dans la vapeur d'alcool. Le dessus même de ce coffre forme une sorte d'établi à hauteur d'appui. Sous la table où il repose, se trouve comme une vaste armoire, en tôle boulonnée, s'ouvrant à la partie antérieure seulement et où sont déposés les réservoirs d'alcool. Ceux-ci, tous pareils, sont en métal et se placent dans le coffre susdit sur des appareils à bascule, qui suivent les mouvements du roulis et qui sont organisés de manière à ce que le robinet des récipients se dirige constamment de lui-même vers le haut. Dans la cale, la provision d'alcool sera contenue tout entière dans des réservoirs semblables renfermés eux-mêmes dans une soute spéciale et il suffira de remplacer dans les bascules, un récipient par un autre ; plusieurs de ceux-ci seront en usage simultanément pour les alcools de diverses forces. Du reste, une précaution générale sera prise contre la pénétration de l'esprit-de-vin dans le navire en cas d'accident. Le plancher des trois laboratoires doit être garni, en guise de tapis, d'une feuille de plomb continue qui se relève partout autour des salles, même à l'entrée des ascenseurs et au seuil des portes, jusqu'à 15 cent. environ de hauteur.

Au-delà de l'évier, perpendiculairement à la première table décrite, s'en détache une seconde, dégagée de trois côtés et qui est presque entièrement à roulis. Toutefois, la partie qui fait face au jour demeure fixe. Un peu plus loin, une autre table, analogue mais plus longue, s'avance encore dans la pièce (l'intervalle de ces deux tables est occupé par la caisse à alcool). Cette table, fixe

dans sa plus grande partie, ne porte une surface à roulis que vers son extrémité libre. On peut s'appuyer sur un cadre solide de trois côtés de ce carré mobile et l'ensemble répond ainsi à des besoins différents de ceux que vise l'organisation de la première table. Je ne puis insister sur ces détails et en expliquer ici tout l'intérêt pratique.

Au-delà de la paroi parallèle à celle ou s'ouvre la porte, se trouve un bureau avec tiroirs, surmonté d'une bibliothèque. Viennent ensuite des armoires qui se continuent à angle droit sur la cloison opposée aux hublots, jusqu'à l'ascenseur. Après celui-ci se trouve la table réservée au garçon de laboratoire. Enfin, la quatrième paroi, jusqu'à la porte d'entrée, est encore garnie d'armoires. Celles-ci ont deux corps dont l'inférieur, à porte pleines, est plus large que le supérieur. Partout, à la réunion des deux corps, existent des tablettes à coulisses sous lesquelles règne une rangée de tiroirs.

Montons maintenant sur le pont. A l'extrémité arrière du roof s'étend sur 5^m11 de long et 3^m15 de large, avec une hauteur de 2^m au milieu, un laboratoire superbe, inondé d'air et de lumière de trois côtés par seize fenêtres et ayant accès sur le pont par deux portes. Entre celles-ci, un établi, l'ascenseur, une armoire. Au-delà des portes, de chaque côté, sous les fenêtres, une très grande table, moitié fixe, moitié à roulis, dont l'organisation m'occupe depuis longtemps. J'ai cherché, pour le cadre central mobile, une combinaison telle qu'on puisse à volonté y placer des fonds de diverses natures, colorés au gré de chacun, des cuvettes, si l'on veut, des tamis, des glaces permettant l'éclairage par dessous, excellente méthode pour la recherche et l'isolement des animaux dans les pêches pélagiques. Contre la paroi arrière, fort bien éclairée également, devait prendre place, sur une caisse métallique servant de réservoir d'eau douce pour les cabines inférieures, un grand aquarium. Mais des difficultés techniques on fait ajourner sa construction, du moins quant à présent.

Le moment est venu de rentrer dans l'intérieur du yacht où reste à visiter le laboratoire arrière, plus spécialement destiné à l'océanographie, à la photographie, etc. Le plancher a la forme d'un trapèze dont les côtés parallèles mesurent respectivement 3^m et 1^m13 de long, les deux autres côtés ayant chacun 4^m50. La hauteur de la pièce atteint 2^m10. Mais à cause des formes fuyantes du navire dans cette région, sa largeur sous le pont est beaucoup plus grande qu'au plancher. Ce laboratoire est éclairé d'un côté par trois hublots sous lesquels règne d'un bout à l'autre une table de largeur variable selon la concavité de la paroi. En face de la porte, près du côté le plus court du trapèze, cette table est transformée en un évier particulièrement adapté aux besoins de la photographie.

A droite, sur la petite paroi, se trouvent une toilette à bassin mobile et quelques étagères. La grande surface verticale qui fait face au jour est entièrement garnie d'armoires. Enfin le fond du laboratoire, formé par la cloison étanche arrière de la machine, supporte une bibliothèque qui surmonte elle-même une

table du milieu de laquelle s'en détache perpendiculairement une autre de grandes dimensions. Cette table occupe tout le milieu de la salle, aucune de ses parties n'est mobile et le bois dont elle est faite est très ordinaire, de façon à ce que l'on puisse y fixer sans inconvénient, à l'aide de vis ou de clous, divers appareils. Ici comme partout dans le navire, l'obscurité est facile à obtenir, grâce aux obturateurs métalliques à vis et garnis de caoutchouc, dont les hublots sont munis. C'est une excellente chose pour les manipulations photographiques et pour recueillir le cas échéant, quelques observations précises sur les êtres phosphorescents.

Il convient d'ajouter que l'eau distillée est distribuée partout de même que l'eau de mer. La ventilation est organisée également d'une façon particulière, le chauffage se fait à la vapeur et la lumière électrique sert à l'éclairage du yacht tout entier.

J'aurais à parler encore des appareils de recherches dont la série sera des plus complètes, mais le temps me fait défaut et je ne voudrais pas empiéter d'ailleurs sur un sujet que le Prince traitera quelque jour avec une compétence bien supérieure à la mienne. La description sommaire des laboratoires que Son Altesse m'a prié depuis longtemps d'étudier tout spécialement m'a entraîné assez loin, et je ne saurais mieux terminer cette longue lettre qu'en reproduisant ici le télégramme adressé de Christiania au Prince, le jour même du lancement par notre savant confrère le Professeur Robert Collett :

Quod bonum, felix faustumque sit !

Les glaces autour du Spitsberg en 1907 *

Par Gunnar Isachsen

En raison de mes travaux au Spitsberg j'ai été amené à m'intéresser tout spécialement à la distribution des glaces flottantes dans les parages de cet archipel ; comme celle-ci a affecté, cette année, des conditions toutes particulières, il m'a paru intéressant d'en présenter un tableau rapide aux diverses époques de l'année d'après les renseignements que j'ai pu recueillir.

Ce tableau est établi d'après mes observations personnelles, et les indications qui m'ont été fournies avec une extrême obligeance par S. A. S. le Prince Albert, à bord du yacht *Princesse Alice*, et par les capitaines des vapeurs suivants : MM. de Gerlache, de la *Belgica* ; Naess, du *Kong Harald* ; Hansen, du *Neptun* ; Henriksen, du *Mars* ; et Th. Olsen, de l'*Express*, ainsi que par MM. les directeurs

* Bull. Inst. Océan. Monaco, nº 114, 18 mars 1908.

des stations de baleiniers (au Spitsberg) de M. Albert Grön, et de M. Sev. Dahl et par plusieurs chasseurs de phoques. Je leur adresse à ce sujet mes remerciements les plus respectueux et les plus sincères.

Sur la carte (Pl. 1, fig. 17) est portée la position approximative des glaces au milieu des mois d'avril, de mai, de juin, de juillet et d'août. Les traits indiquent : dans la mer du Grönland et sous le Grönland, le bord oriental des glaces flottantes ; dans cette mer et autour du Spitsberg, le bord ouest ; dans la mer de Barents, le bord sud ; et dans la mer Mourmane, le bord nord de la glace.

Avril. — Le 30 mars la banquise a été rencontrée par 69° lat. N. et 42° long. E., au nord de la mer Blanche ; de là elle s'étendait dans le sud et dans l'est, souvent en dessinant des baies profondes. Pour faire route dans l'est, il faut se maintenir aux environs du 69°, soit à environ 20 milles marins au nord de la presqu'île de Kanin, jusqu'à ce que l'on soit par le travers de la pointe nord-est de la presqu'île ; de là la glace prend la direction du nord-est au nord de Kolgujev, et puis celle de l'est-sud-est. La glace ne se retire que lentement. A la fin d'avril et au commencement de mai, la presqu'île de Kanin semble même être libre ; par contre la glace se maintient aux environs de Kolgujev, à deux ou trois milles seulement de terre du côté du nord-est.

Le Storfjord (Spitsberg oriental) était en partie rempli de bandes de glaces flottantes rattachées par de la glace nouvelle. La glace dérivait le long de la terre, entraînée par le courant, et disparaissait dès que le vent montait au nord. Pendant tout l'hiver, depuis octobre, le fjord resta libre tout entier, la mer brisant la nouvelle glace à mesure qu'elle se formait.

La côte nord-ouest du Spitsberg occidental a présenté pendant l'hiver et le printemps des situations très variables, suivant que la glace se trouvait poussée vers la terre ou refoulée vers le large par le vent. Tantôt les fjords et les baies se trouvaient ainsi remplis de glaces et tantôt entièrement ou presque dégagés, suivant les changements de vents. Il pouvait même arriver que la banquise demeurât hors de vue de la côte. Pendant tout l'hiver il ne se serait pas établi une nappe fixe dans ces parages.

Mai. — Dès la fin d'avril, la côte ouest de la Nouvelle-Zemble, à partir de la pointe sud du Grönland jusqu'au 75° lat. N., n'avait qu'une ceinture de glace peu résistante, large de 2 à 5 milles ; il semble même qu'à partir du Matotschkin Scharr et même de plus loin dans le sud, la mer ait été à peu près libre. Vers le nord, la mer de Barents était libre à la fin d'avril jusqu'au delà du 75°, et même au sud de l'île Hope vers le 27° de long. E., jusqu'au 76° ; mais, à partir de là, la glace pousse une pointe vers le sud-sud-ouest très loin dans l'ouest de Beeren Eiland.

Vers le milieu de mai la limite de la banquise se trouve beaucoup plus au sud, presque sur le parallèle de Beeren Eiland, soit par 74° 45' de lat. N., entre le 25° et le 52° long. E. de Greenwich. — De là elle se dirige dans l'est vers

la Nouvelle-Zemble, et dans l'ouest-sud-ouest au sud de Beeren Eiland. Droit au sud de cette île, la glace descend jusqu'au 74°, et encore plus à l'ouest entre le 15° et le 16° long. E., on rencontre la glace dès le 73° 30' de lat. N. De ce parallèle il faut faire route dans le nord-ouest pour doubler la glace au 74°. On peut alors marcher dans le nord jusqu'au 75° 30', mais on doit alors gouverner au nord-ouest pour dépasser la glace, et ce n'est qu'après être remonté jusqu'au 77° environ que l'accès du Spitsberg devient libre.

A la fin du mois, dans l'est de Beeren Eiland, la glace s'étend jusqu'aux environs de 75° de lat. en se rapprochant de cette île. Au sud de cette terre elle s'étend au delà de ce parallèle et dans l'ouest elle a une telle extension que le 28 mai et le 1er juin, on doit s'avancer jusqu'au 14° environ de long. E. pour trouver une mer absolument libre ; il est vrai que la glace est peu résistante et qu'elle forme souvent de grandes baies.

Le Storfjord semble avoir été rempli de glaces en dérive, quoique le vent du nord ait soufflé très fréquemment.

Sur la côte nord-ouest du Spitsberg les conditions de la glace paraissent être les mêmes qu'antérieurement, et les glaces dérivent tantôt vers le large, tantôt vers la terre. Par temps clair on pouvait, vers le milieu du mois, voir que l'île des Norvégiens se trouvait en mer libre.

Dans la partie ouest de la mer du Grönland, on trouve la banquise, au commencement de mai, juste au nord de Jan Mayen, vers le 72° lat. N. De là elle forme des saillies vers l'ouest-sud-ouest et l'est-nord-est. Il faut souvent faire route bien loin dans l'est avant de pouvoir reprendre la direction du nord ; mais la glace forme des baies larges et profondes. La limite moyenne de la banquise oscille entre le 5e et le 6e degré de long. W. jusqu'au 76e degré, où elle prend la direction de l'est-nord-est.

Juin. — Comme il a déjà été dit, on devait encore, le 1er juin, faire de l'ouest pour pouvoir atteindre en mer libre le Spitsberg. Pendant la plus grande partie de ce mois, la glace demeure au nord du 75°, mais s'étend bien plus loin vers l'ouest qu'en mai ; souvent aussi elle rétrograde un peu plus au nord, de sorte qu'il faut remonter jusqu'à hauteur de Bellsund pour pouvoir atteindre la côte du Spitsberg. La glace s'étend à 20 milles dans le sud de Beeren Eiland, moins loin par suite que pendant le mois précédent. Par contre, sur la côte est de cette île elle touche la terre et de là se dirige vers l'est-nord-est et le nord-est. A Beeren Eiland, la glace est, à partir du milieu du mois, si faible qu'on peut naviguer autour de l'île, à une assez petite distance de la côte.

Le Storfjord est encore plus que pendant le mois précédent rempli de trains de glace composés de bandes de glace nouvelle enserrant des blocs plus résistants. Le vent souffle plus généralement du sud et de l'est.

Sur la côte nord-ouest, la glace continue comme antérieurement son mouvement de va-et-vient.

Dans la mer du Grönland, la banquise s'est retirée vers l'ouest, et l'on peut maintenant, à la hauteur du 74° lat. N., atteindre le 10° long. W. A partir de ce méridien elle se dirige principalement vers le sud-sud-ouest et le nord-est. On peut naviguer dans le nord-est jusque vers le 76°, pour cela on doit faire route vers l'est-nord-est et l'est, jusqu'au 1° long. E., ensuite il est possible d'avancer de nouveau dans le nord-nord-est et le nord. La glace forme de grandes baies profondes et est souvent peu résistante sur les bords.

Juillet. — Comme on l'a vu, on pouvait après la mi-juin pousser au nord et même très loin au nord de Beeren Eiland. La limite méridionale de la banquise rétrograde successivement jusqu'au 75°, dans le méridien de cette terre. A l'est de cette terre on peut naviguer dans la direction du nord-est en passant au sud de l'île Hope jusqu'au 78° lat. N. et 35° long. E. ; on doit ensuite obliquer un peu vers l'est. A l'ouest, par contre, on doit descendre en dessous de l'ouest, et parcourir de 50 à 60 milles avant que l'on puisse faire route vers le nord-ouest et le nord-nord-ouest ; mais on ne peut naviguer ainsi que jusqu'à la hauteur du Hornsund ; on se trouve alors arrêté par le bord de la banquise dirigé vers l'ouest. Il faut alors faire un long détour d'environ trente milles marins et s'éloigner encore davantage dans le sud avant de pouvoir remonter de nouveau vers le nord. Mais il faut atteindre presque le 79° lat. N. pour passer au nord de la glace dans un chenal large d'environ 20 milles entre la glace et le Foreland, et pour entrer ensuite, non sans difficulté, dans l'Isfjord au sud du Foreland en traversant des glaces éparses. Sous le 79° lat. N., la glace pouvait à certains moments s'étendre, plus ou moins épaisse, jusqu'à la banquise du nord et à celle de l'ouest de la mer du Grönland ; cette dernière détachait un promontoire qui n'était éloigné que de 70 milles de l'extrémité nord du Foreland, ce qui veut dire qu'il atteignait environ le 4° long. E. D'une manière générale, la glace n'était pas très résistante au nord de la Dunderbay, elle l'était cependant suffisamment pour être impossible à forcer. Dans le sud elle était au contraire très dense. Voici ce que raconte un capitaine chasseur des mers polaires : « Le 21 juillet la glace se détacha près de la Dunderbay et dériva au nord en même temps qu'elle remplit complètement l'Isfjord. 3 ou 4 jours plus tard, elle ressortit de l'Isfjord et disparut[1]. A partir de la Dunderbay et vers le sud, la glace resta compacte le long de terre à une distance de 5 à 6 milles ». Il y avait eu pendant plusieurs jours une très forte brise de sud-ouest et d'ouest-sud-ouest.

Le Storfjord était en partie ouvert pendant les premiers jours du mois, mais des bandes de glaces, qui s'étendirent jusqu'au Mille Iles, s'y amoncelèrent de nouveau. Sous la terre courait un chenal libre vers le sud dans la direction du cap Sud.

[1] J'ai souvent entendu les chasseurs de phoques raconter que la glace, en dérivant vers le nord, devant l'ouverture du Bellsund, entre presque toujours dans ce fjord, tandis que l'opposé se produit le plus souvent en ce qui concerne l'Isfjord, où le courant qui sort du fjord tend à tenir la glace éloignée de l'embouchure.

Sur la côte nord-ouest les conditions de la glace sont à peu près les mêmes qu'antérieurement.

Sur la côte nord, on rencontre de la glace polaire près de l'île Moffen le 4 juillet.

Août. — Comme il a été dit, la glace, sous la côte ouest du Spitsberg, dégagea le 22 juillet la côte, à partir de la Dunderbay vers le nord ; elle se retira vers le nord et disparut[1]. La mer était alors libre jusqu'à la latitude du Bellsund et de l'Isfjord, tandis que la côte plus au sud continuait à être bloquée. Cet état de choses dura jusqu'au 16 août, date à laquelle une grande quantité de glace arriva de nouveau du sud et barra entièrement la côte ouest jusqu'au Foreland et même jusqu'à sa pointe nord[2]. Par le travers de cette pointe, la glace s'étendait sur environ 60 milles dans l'ouest avec une largeur de 10 à 15 milles. Elle s'étend ainsi jusqu'à environ 79° par 6° long. E. Cette situation persista jusqu'au 29 août. A cette date une tempête de vent du nord poussa cette glace dans l'ouest du Foreland. Si bien que le 5 septembre, avec le *KVEDFJORD*, nous dûmes faire un crochet de 60 milles dans l'ouest, à partir de la pointe sud du Foreland, avant de pouvoir mettre le cap sur la Norvège. Le long de terre, dans le sud, la glace était si faible que les navires à vapeur pouvaient la traverser jusqu'au cap Sud ; mais là on était obligé de faire environ 15 milles dans l'ouest avant de pouvoir sortir des glaces.

Le long de la côte est du Spitsberg, on pouvait naviguer dans un chenal libre sous la terre et plus au sud au milieu de glaces divisées qui ne disparaissaient qu'à environ 50 milles au sud du cap Sud.

Dans la mer de Kara les conditions de la glace semblent avoir présenté des difficultés sérieuses pendant tout l'été. Durant cette saison, le vent a soufflé continuellement du nord-est. Lorsqu'au commencement de juillet, la *BELGICA* essaya d'entrer dans cette mer par le Matotchkin Scharr, elle rencontra une glace très épaisse et impénétrable avec laquelle elle dériva au sud le long de la côte est de l'île méridionale, puis à travers le détroit de Kara et ensuite le long de la côte sud. Près du Gaaseland seulement, le 20 août, le navire se dégagea après avoir été en dérive avec la banquise pendant 33 jours. La *BELGICA* ne rencontra plus ensuite de glace, le long de la côte ouest de la Nouvelle-Zemble jusqu'au 1er septembre, date à laquelle elle en trouva de nouveau près de la pointe nord de cette terre.

Cet ensemble de renseignements montre que cet été sur la côte ouest du Spitsberg, et plus au sud, vers Beeren Eiland, comme autour de cette île, les glaces ont été bien plus abondantes qu'on ne l'avait jamais auparavant constaté.

[1] La *Princesse Alice* et le *Kvedfjord* durent, forcés par cette glace, quitter leur mouillage sous la pointe nord du Foreland et aller a Quade Hoek.

[2] A cette date, on vit du haut de la montagne, à l'est de la Hamburger Bay, de la glace éparse dans l'ouest.

D'où toute cette glace est-elle venue ? Nous savons tout au moins une chose, c'est que cette glace est venue de l'est. Cela ressort clairement de ce qui a été dit plus haut, et de ce que nous savons des courants chauds et froids autour du Spitsberg et dans la mer du Grönland.

Mais alors se pose la question : de quelle région située à l'est du Spitsberg cette glace provient-elle ? La plupart des chasseurs de phoques pensent que cette glace était originaire de la mer Mourmane, où les vents ont soufflé, cette année, presque généralement du nord et de l'est. Dans les conditions ordinaires, dès que la débacle a eu lieu, la glace de la mer Mourmane monte généralement vers le nord le long de la côte ouest de la Nouvelle-Zemble.

Or, d'après leurs dimensions, la plus grande partie des glaçons rencontrés entre le Spitsberg et Beeren Eiland étaient évidemment vieux de plusieurs années ; autrement dit, une grande partie provenait du bassin polaire. Lorsqu'on considère la direction prédominante des vents pendant l'année dernière, il est évident qu'il a dû descendre cette année, plus de glace polaire que de coutume de la partie est du Spitsberg.

Les glaces qui ont été rencontrées l'été dernier entre le Spitsberg et Beeren Eiland proviennent donc non seulement de la mer Mourmane et de la partie sud de la mer de Barents, mais aussi, et peut-être pour une part très importante, du bassin polaire.

De l'ensemble des faits rapportés on peut conclure que deux facteurs ont tout spécialement déterminé l'abondance des glaces en 1907, autour du Spitsberg et de Beeren Eiland : 1° l'hiver a été peu ordinaire, avec presque point ou pas du tout de glace compacte dans des parages où ce genre de glace se forme généralement, et 2° les vents ont soufflé presque continuellement entre le nord et l'est, ce qui a provoqué un fort rassemblement des glaces dans lesdits parages.

Les chasseurs de phoques ne peuvent pas se rappeler avoir rencontré la glace dans des conditions aussi particulières que cette année, et, à en juger d'après les rapports qui ont été faits, il semble que l'on doive remonter à au moins 20 ans pour retrouver un semblable état de choses.

Une expérience sur les courants de l'Atlantique *

Par G. Pouchet

Les phénomènes qu'étudie la météorologie constituant un des facteurs essentiels des manifestations de la vie à la surface du globe, on ne s'étonnera

* Le Génie civil du 23 janvier 1886, p. 180-182. Cet article est accompagné de 4 figures qui sont déjà données dans le Fasc. LXXXIV, Pl. II, fig. 6, 7 et Pl. III, fig. 7. Quant à la 4e elle est plus complète dans la Pl. C dudit Fascicule.

point de nous voir aborder une question aussi éloignée en apparence de nos études ordinaires, que celle des courants de l'Atlantique.

On lit, on voit répéter partout que le climat doux de la Norwège, comparé à celui de la côte américaine aux mêmes latitudes, est dû à l'influence du Gulf-Stream. C'est l'opinion classique et que partagent nombre de personnes compétentes en France et à l'étranger. Le public renchérit à son tour et attribue aux mêmes causes, c'est-à-dire à des courants chauds de la mer, la douceur de la température sur certaines parties de notre rivage français, aux environs de l'embouchure de la Loire et sur tout le périmètre de la Bretagne.

Je n'entrerai point ici dans la discussion des faits allégués par les partisans de l'influence des eaux de l'Atlantique comme modificatrices de climat. Il a bien fallu renoncer à suivre depuis le golfe du Mexique jusque sur la côte européenne un courant continu. On convient aujourd'hui que le Gulf-Stream se perd assez vite à la surface de l'Atlantique, mais on a essayé de reporter l'action échauffante qu'il ne pouvait plus avoir à un autre courant beaucoup moins bien défini, qui lui ferait suite en quelque sorte, et qui ne serait après tout qu'un lent mouvement de translation des eaux de la surface de l'Océan, de l'ouest vers l'est (Findlay 1867).

Dès lors, les conditions d'échauffement par le fait d'une masse d'eau se déplaçant d'un mouvement aussi lent, deviennent fort problématiques, et il se crée en ce moment une opinion qui tendrait à attribuer à la circulation atmosphérique et non à la circulation océanienne les influences calorifiques dont on faisait, il y a quelques années, essentiellement les attributs du Gulf-Stream.

La circulation océanienne n'en présente pas moins un intérêt considérable, et si nombre de documents fournis par les épaves ont permis d'en tracer l'économie générale pour l'Atlantique nord, on ne saurait trop demander de ce côté à l'expérimentation ; mais on comprend que de pareilles entreprises exigent des sacrifices pécuniaires en rapport avec la grandeur du but que l'on poursuit et surtout avec l'étendue du champ d'expériences sur lequel on agit. Des circonstances heureuses nous ont permis de tenter dans des conditions presque improvisées une première expérience qu'un succès partiel a déjà couronnée ; il est tel cependant qu'on ne saurait regretter l'argent et la peine dépensés.

Voici comment j'ai été amené à réaliser cette expérience, grâce au concours pécuniaire de la Ville de Paris et surtout au zèle pour les sciences de S. A. le Prince héréditaire de Monaco.

Il y a quelques années, le Conseil municipal de la Ville de Paris m'avait généreusement alloué une somme assez forte pour acquérir aux Açores des pièces importantes manquant aux collections du Muséum d'histoire naturelle. Un reliquat demeura disponible et j'avais résolu de l'employer à une grande expérience sur les courants de l'Atlantique. Sur ces entrefaites, j'eus l'occasion de m'entretenir de ce sujet avec le Prince Albert de Monaco, qui avait déjà fait profiter les

sciences d'un précédent voyage accompli sur son yacht à voiles l'*Hirondelle*. Il voulut bien m'offrir de mettre celui-ci une fois de plus au service des intérêts scientifiques et m'annonça qu'il était tout prêt à aller jeter à l'eau lui-même des flotteurs, dans les parages des Açores.

L'*Hirondelle* était en armement à Lorient ; il fallut hâter et en quelque sorte improviser les préparatifs. Nous nous arrêtâmes à trois catégories de flotteurs :

1° Dix sphères en cuivre rouge, de $0^{m}30$ de diamètre, formées de deux hémisphères rapprochés et vissés sur un joint en caoutchouc au moyen d'écrous très apparents, qui donneront au destinataire éventuel l'idée de les ouvrir.

2° Vingt barils de 16 litres, fabriqués à Tantonville sur le modèle de ceux qu'on emploie pour le transport de la bière, à douves très fortes, cerclés de fer, goudronnés intérieurement.

3° Cent cinquante bouteilles ordinaires fermées par un bouchon de choix, coiffé d'un gant en caoutchouc.

Chaque flotteur contient un imprimé ainsi conçu :

*Dans le but d'étudier les courants de la mer, avec l'aide du conseil municipal de la ville de Paris, ce papier a été jeté à la mer par les soins de S. A. le Prince héréditaire de Monaco, à bord de son yacht l'*Hirondelle*, et en sa présence. Toute personne qui trouvera ce papier est priée de le faire parvenir aux autorités de son pays, pour être transmis au Gouvernement français, en indiquant, avec le plus de détails possible, le lieu, la date et les circonstances où ce papier aura été retrouvé.*

Signé : Albert, Prince héréditaire de Monaco.
G. Pouchet, Professeur au Muséum de Paris.

Suit une rédaction sommaire de cet avis, reproduite en russe, norvégien, danois, anglais, allemand, hollandais, espagnol, portugais et maugrabin. Chaque imprimé, qui porte un numéro d'ordre, est détaché d'un carnet à souches, pour que l'authenticité puisse au besoin en être constatée ; il est de plus, inclus dans un tube de verre fort soudé à la lampe, qui le conservera indéfiniment. Ce document est roulé sur lui-même, de telle sorte que, sans briser le tube, on puisse lire son numéro et voir qu'il est polyglotte.

La fermeture des sphères de cuivre et des barils a été faite avec le plus grand soin, par l'arsenal de Lorient, auquel M. le Ministre de la Marine avait bien voulu envoyer des ordres pour cet objet.

Il eut été désirable de constituer d'avance aux sphères métalliques et aux barils un poids spécifique de peu supérieur à celui de l'eau de mer, pour éviter l'action du vent ; mais, comme il fallait compter avec une immersion de plusieurs mois (six au moins, d'après les faits connus), on devait craindre que l'imbibition du bois, les infiltrations possibles, les productions animales calcaires ne vinssent augmenter la densité du système et le faire couler. Nous avons pensé parer dans une certaine mesure à ce mal en laissant aux sphères métalliques et aux barils un excès de force ascensionnelle, contrebalancé par un lest temporaire.

Pour les sphères, on a pris un sac dans le fond duquel on a noué deux litres de sable, puis on a fait avec de la cordelette un étranglement destiné à isoler ce lest. Au-dessus, on a placé la sphère métallique, après quoi, le sac était refermé. Nous avons compté qu'à la longue, le sac serait pourri, usé, mangé peut-être par les animaux et laisserait alors les sphères en liberté.

Pour les barils, le lest se compose d'un fragment de gueuse en fonte de fer dont le poids variait entre 17 et 20 kilog. Ces gueuses, en usage dans la marine, sont toujours percées d'un trou pour passer une corde. A chaque baril fut suspendue une gueuse au moyen d'une anse de fil de fer prise dans deux cerceaux de bois qui seront forcément mangés par les tarets, rompus au bout de quelques mois.

Une autre précaution encore a été prise pour les barils. Il ne fallait pas que ceux trouvés à la mer ou au rivage, pussent être employés à quelque usage sans qu'on les eût ouverts et qu'on eût vu le tube scellé renfermant le document imprimé. Il fallait attirer l'attention sur leur contenu, et pour cela, nous les avons remplis de balle d'avoine, qui ne pourra pas manquer d'attirer l'attention de ceux qui les repêcheront.

L'*HIRONDELLE*, emportant le matériel de l'expérience, mit à la voile, sous le commandement du Prince Albert en personne, dans les premiers jours de juillet. Il fut convenu que les flotteurs seraient jetés à la mer, dans le nord-ouest de Corvo, la dernière des Açores du côté de l'Amérique.

Le 9 août 1885, le Prince Albert nous écrivait :

« 20 juillet, arrivée à Fayal.

« 23, à Florès. Intention de continuer vers les régions visées, mauvais temps au-delà des îles, retour à Florès pour préparer un nouvel élan ; relâche à Florès où tout le monde s'intéresse au but de l'excursion dans l'ouest. Mais la mer ne paraît pas commode ici.

« 25 juillet, nouvelle tentative vers le nord-ouest.

« 27 juillet, 6 h. 15 du matin, l'*HIRONDELLE* est à environ 110 milles dans le N. 27° O. de Corvo, le jet des bouteilles commence par le n° 179 et se poursuit de mille en mille jusqu'à 3 h. 40 (bouteille n° 128). 3 h. 50, vient le jet des barils immédiatement suivi du jet des sphères métalliques. Ces deux catégories de flotteurs sont espacées de 2 en 2 milles, et la dernière nous quitte le 28 à 4 h. 39 du matin. Aussitôt la 2^{me} série de bouteilles reprend au n° 126 (le 127 ayant été cassé), jusqu'au numéro 99 (9 h. 14). L'intervalle est d'un mille et jusqu'à la fin (1 h. 53 du soir), d'un demi-mille seulement. Les flotteurs, emportés par l'*HIRONDELLE*, sont donc tous à l'eau, sauf un. Ils sont répandus sur une ligne qui court à peu près N. 14° O., longue de 170 milles. L'opération a duré 31 h. 1/2. Tout l'équipage de l'*HIRONDELLE* a mis beaucoup de bonne volonté et même pris un véritable intérêt à toute l'entreprise ».

Le lieu choisi à l'avance pour l'opération, et où le Prince Albert a pu l'accomplir si heureusement, est situé à peu près exactement sur une ligne

joignant le détroit de Floride, par lequel le Gulf-Stream se précipite dans l'Atlantique, et l'entrée de la Manche.

Dans la note par laquelle le Prince Albert rendait compte à l'Académie des Sciences de notre tentative commune, il disait :

« Si quelqu'un de ces flotteurs gagne la côte d'Europe, ce qui est probable, s'il parvient aux mains d'une personne éclairée, ce qui est plus difficile, nos prévisions sont que ce double succès se produira entre le 40e et le 50e degré de latitude nord. S'ils devaient tous disparaître, nous ne regretterions pas d'avoir risqué une expérience que nous croyons importante. En tous cas, la précaution prise d'enfermer le document écrit dans un tube de verre scellé à la lampe, assure pour une durée plusieurs fois séculaire l'existence de ce document. Il serait donc possible à la rigueur que, dans un temps éloigné, un de ces tubes fût retrouvé sur quelque plage lointaine ou peu explorée ».

A la vérité, les dernières cartes publiées sur les courants de l'Atlantique semblent indiquer, pour le lieu où ont été jetés les flotteurs, une direction des eaux superficielles les portant vers le sud-est et non simplement vers l'est. Mais nous avions pour baser la prévision en question les indications fournies par certaines épaves connues (bouteille de l'*HIMALAYA,* bouteille du *HERDER*) et enfin cette notion très généralement acceptée aujourd'hui d'une translation ouest-est des eaux de la surface de l'Atlantique portant vers notre côte des eaux relativement chaudes.

Nos prévisions jusqu'à ce jour ne se sont pas réalisées. Trois de nos flotteurs ont été retrouvés, mais après une course vers l'est dans laquelle ils ont fortement incliné en même temps vers le sud. Deux bouteilles et un baril ont été repêchés aux Açores mêmes dans les conditions suivantes :

1° Bouteille n° 136, lancée le 27 juillet (lat. 42° 12' N., long. 34° 39' O.). Recueillie le 19 septembre à 10 milles au large du port Saint-Iria ; île San-Miguel.

2° Bouteille n° 133, lancée le 27 juillet (lat. 42° 15' N., long. 34° 39' O.). Recueillie le 17 septembre à 1 mille dans l'est de Porto-Formoso ; île San-Miguel.

3° Baril n° 22, lancé le 27 juillet (lat. 42° 35' N., long. 34° 29' O.). Recueilli le 10 octobre au port de Porto, île Santa-Maria, presque à terre.

Les deux bouteilles recueillies à San-Miguel auraient donc employé cinquante-trois jours (27 juillet — 18 septembre) à parcourir une distance de 420 milles suivant la direction S. 49° E., si on admet que ces bouteilles aient été recueillies au moment de leur arrivée à la côte, soit à raison de 8 milles par 24 heures. Les deux bouteilles jetées le même jour, retrouvées presque à la même date dans les mêmes parages se servent mutuellement de contrôle, et donnent aux renseignements qu'elles apportent une grande valeur comme indication de vitesse et de direction.

Le baril trouvé 22 jours plus tard sur Santa-Maria *presque à la côte*, c'est-à-dire y ayant peut-être échoué déjà et séjourné, n'en fournit pas moins un renseignement utile en montrant que les flotteurs descendus sur San-Miguel

semblent continuer leur course vers le sud. On peut supposer que nos flotteurs, après avoir contourné les Açores, ont continué leur route dans la direction des îles du Cap-Vert pour de là traverser l'Atlantique et gagner directement les Antilles, ou tourner indéfiniment dans l'immense et pacifique tourbillon qui porte en géographie le nom de mer des Sargasses.

Quoiqu'il en soit, les résultats positifs, bien que partiels, de notre expérience, semblent établir que de la latitude où ont été jetés les flotteurs, c'est-à-dire par le travers du cap Finisterre, pas une goutte d'eau de la surface de l'Atlantique n'arrive sur les côtes de France. C'est un point qui semble désormais bien acquis. Si on admet qu'il existe un courant ou simplement une translation d'eaux plus chaudes de l'ouest vers l'est au niveau des côtes de France, c'est donc au nord du 42e parallèle qu'il faut chercher l'origine de l'échauffement de ces eaux, et tout le monde paraît aujourd'hui d'accord pour admettre que le courant du golfe ne fait plus sentir aucunement son influence au delà du 40e degré de latitude. En réalité, en dehors de la sphère d'action de celui-ci, aujourd'hui bien connue et parfaitement mesurée, il semble que le mouvement des eaux superficielles de l'Atlantique entre les Açores, les îles du Cap-Vert et les Antilles, soit dans une grande mesure fonction des mouvements de l'atmosphère. En comparant la marche de nos flotteurs à la carte des vents de Brault pour les mois de juillet, août et septembre, on verra que leur direction s'accorde assez sensiblement avec celle du courant qui a porté nos flotteurs.

Notre expérience est-elle définitive ? Evidemment non, et tout un programme pour la continuer s'impose de lui-même. Mais ce ne sont pas là des entreprises qu'on peut mener à bonne fin sans de grands frais. Le concours généreux de la ville de Paris, comme on l'a vu, n'a pas suffi ; il a fallu en plus le dévouement d'un propriétaire de yacht, consacrant à l'amour des sciences les loisirs et les dépenses d'une expédition qui n'était en aucune façon un voyage d'agrément. Si ceux qui ont mené à bonne fin cette première tentative, n'ont qu'à s'applaudir des résultats qu'elle a donnés, ils ont surtout l'espérance que de nouveaux et plus puissants moyens d'action, mis en œuvre avec une rigueur scientifique qu'on n'avait pu réaliser pour une expérience en quelque sorte improvisée, seront un jour mis à leur disposition.

P.-S. — Depuis que cet article a été écrit, deux sphères métalliques portant les numéros 9 et 1 ont été retrouvées. Sur la première, nous n'avons aucun renseignement. La sphère n° 1 a été repêchée le 15 novembre sur la côte nord de l'île de Pico, c'est-à-dire plus à l'ouest et au nord que les premiers flotteurs découverts à San-Miguel et à Santa-Maria. En se reportant au lieu précis où ont été lancés les différents flotteurs, on s'assure que la sphère n° 1 n'aurait pu descendre sur Pico, qu'en coupant à angle la route des flotteurs qui se sont dirigés sur San-Miguel et Santa-Maria, ce qui est infiniment peu probable.

Il semble plus rationnel d'admettre qu'après être descendus vers le sud-est, les flotteurs ont pris, comme nous l'indiquions, leur route vers l'ouest en s'éloignant de l'Europe.

Un des deux documents nous est revenu dans un tube de verre, et celui-ci encore contenu dans son étui de carton. Cet étui, entièrement intact, atteste l'étanchéité parfaite du joint réunissant les deux moitiés de la sphère métallique[1].

Les Eaux vertes de l'Océan *

Par G. Pouchet

La question des eaux vertes de l'Océan relève vraisemblablement de la Biologie, comme Scoresby paraît l'avoir indiqué le premier. Au cours du dernier voyage où j'avais la bonne fortune d'accompagner notre collègue le Prince Albert de Monaco sur son yacht l'*Hirondelle* jusqu'en Amérique, et au retour sur le paquebot *La Champagne* de la Compagnie Transatlantique, j'ai soigneusement noté chaque jour la couleur de la mer, en ayant soin de ne pas m'en rapporter seulement à mes impressions personnelles.

Voici, pour les mois de juin, juillet et août de cette année, la distribution des eaux vertes et bleues dans l'Atlantique nord, telle que je l'ai relevée en faisant route de Lorient aux Açores, des Açores à Saint-Jean (de Terre-Neuve), de Saint-Jean à New-York et de New-York au Havre.

Le 11 juin, par 41° Lt. N., 18° Lg. W., à 300 milles environ de toute terre et par 3000 mètres de fond, les eaux sont nettement vertes. Le 12 juin — environ par 45° Lt. N., 19° Lg. W. — nous notons leur couleur comme douteuse, tendant à devenir bleue. Le 15 juin, par 42° 30' Lg. W., 21° Lt. N., nous sommes définitivement dans les eaux bleues que nous ne quitterons plus jusqu'aux Açores et des Açores jusqu'à moitié chemin du banc de Terre-Neuve. En ce point, le 22 juillet (41° Lt. N., 41° Lg. W.), la mer paraît moins bleue ; le soir cependant, on note qu'elle est nettement bleue. Du 23 au 26, nous courons N. E.-S. W. et S. W.-N. E. ; nous sommes sur la limite des eaux vertes. A partir du 26 juillet (41° Lt. N., 43° Lg. W.), nous ne les quittons plus. Au retour, de New-York à la pointe du banc de Terre-Neuve, et de celui-ci aux Scilly, la mer est verte ; sa couleur est notée et contrôlée chaque jour. Dans la Manche, la coloration verte devient beaucoup plus intense. A l'arrivée en rade du Havre, pendant le jusant, nous

[1] M. G. Pouchet a publié en 1889 un mémoire d'ensemble sur le sujet. Ce mémoire est trop important pour être reproduit ici. Il est intitulé : Expériences sur les courants de l'Atlantique nord faites sous les auspices du Conseil municipal de Paris, par Georges Pouchet, Professeur au Muséum, Directeur du laboratoire de Concarneau. Paris, Imprimerie municipale, Hôtel de Ville. 1889. (J. R.).

* C. R. Soc. Biol., 5 novembre 1887, p. 629.

franchissons la limite subite de ces eaux vertes et des eaux jaunes de la Seine. Il semble, en conséquence, que la limite des eaux vertes dans l'Atlantique nord, pour l'époque de notre voyage, puisse être tracée par un arc de cercle ouvert vers le Sud ou plutôt un peu vers le S. S.-E., les extrémités de cet arc de cercle se trouvant environ par 45° Lt. N. du côté de l'Europe et 41° 30' Lt. N., du côté de l'Amérique [1].

Cette limite coïnciderait assez bien avec celle des eaux de densité 1,0270 relevée par le *CHALLENGER*. Rappelons aussi la coïncidence sensible qui existe entre l'aire des eaux vertes et les régions où les botanistes ont noté la plus grande abondance de végétaux microscopiques pélagiques.

C'est la nature exacte de la relation indiquée par cette coïncidence, qu'il importe d'établir.

Le fait suivant, quoique d'un ordre en apparence différent, n'est peut-être pas inutile à signaler : le 21 juin, dans des eaux nettement bleues, nous voyons du bord un grand nombre de méduses grosses comme la moitié du poing, *Pelagia noctiluca*. Dans l'eau, elles sont vertes. Tirées de l'eau, elles sont jaunes, d'un jaune un peu roux, un peu sale, mais très net comme nuance. La couleur verte de ces méduses dans l'eau est donc la résultante de la couleur propre de leurs tissus transparents et de la couleur bleue de l'Océan.

Or, précisément en pêchant au filet fin à la surface des eaux vertes de l'Océan on rapporte, la plupart du temps, une récolte abondante de végétaux microscopiques colorés par la diatomine, tels que Diatomées, surtout Rhizosolenia, Péridiniens, Radiolaires (qu'on les considère eux-mêmes comme végétaux, ou comme contenant simplement des cellules à diatomine). La pêche au filet fin donne alors dans le vase où on le lave un dépôt de flocons jaunes, d'un jaune un peu roux, un peu sale, comme était notre méduse [2]. On se demande alors si des multitudes

[1] Les sargasses ne sont pas exclusivement limitées aux eaux bleues ; elles s'avancent certainement à plusieurs centaines de milles au nord, dans les eaux vertes. A l'aller, nous les avons rencontrées depuis 40° Lt. N., 37° 30' Lg. W. jusqu'au voisinage du grand banc de Terre-Neuve. Nous n'en voyons point de Saint-Jean à Halifax, ni de Halifax à Boston, à l'entrée du golfe de Saint-Laurent ; et cependant elles ne sont pas loin, car pendant le voyage de retour nous les trouvons déjà au sud des bancs Saint-Georges, par 70° Lg. Nous en rencontrons (excepté sur la pointe du grand banc) jusqu'au 48e degré de Latitude nord et au 29e de Longitude environ, c'est-à-dire que nous les perdons à peu près sur le méridien même où nous les avions trouvées en quittant les Açores.

[2] Cette apparence ne se produit jamais dans les eaux bleues, pauvres en végétaux, souvent très riches en animaux. Alors le dépôt rapporté par le filet fin est tantôt brunâtre (certains Copépodes, Mollusques), tantôt bleu d'azur (autres Copépodes, Doliolum), ou même rosé (autres Copépodes, Ptéropodes). Le 23 juillet — nous étions à la limite des eaux vertes, 42° Lt. N., 42° Lg. W. — les pêches au filet fin nous donnent un dépôt jaune bien caractérisé. Celles du 24 juillet — 41° Lt. N., 43° Lg. W. — nous donnent un dépôt bleu par les Copépodes. Le 26 juillet — 40° 15' Lt. N., 43° Lg. W. — dans des eaux « peu bleues, légèrement verdâtres », le filet fin ramène comme forme dominante des quantités de Bacillariées : le dépôt est conservé comme type d'eaux où domine la vie végétale. Remarquons enfin que ces colorations nettement tranchées, soit jaune, soit bleue ou rouge du dépôt recueilli par le filet fin ne se retrouvent plus au rivage : nous parlons spécialement de Concarneau où nous avons pratiqué des centaines de ces pêches. Le dépôt en est constamment gris, sans doute par le mélange de matières inorganiques et de détritus de toutes sortes, qu'on y rencontre.

de ces êtres, répandus jusqu'à une certaine profondeur, ne peuvent pas devenir la source de la coloration verte de l'Océan, produisant sur d'immenses espaces le phénomène offert par les tissus de la *Pelagia*.

Il est certain, d'autre part, que la couleur verte des eaux océaniques n'est pas toujours due directement à la présence de végétaux microscopiques. On peut voir sur nos côtes la mer très nettement verte, avec une très faible épaisseur d'eau au-dessus du sable ; et il ne paraît point que les êtres vivants y soient assez nombreux pour avoir une influence sur sa couleur. Mais alors la question se pose de savoir si la couleur verte n'est pas attribuable à une certaine quantité de diatomine dissoute. Mes recherches de ce côté, poursuivies à Concarneau avec le concours de notre collègue M. Chabry, et d'un de mes assistants M. Danysz, ne m'ont point encore donné de résultats positifs, ayant été entreprises aux derniers jours de la saison et sans le matériel instrumental nécessaire. Je me bornerai aujourd'hui à en indiquer le principe.

Si l'on prend des frondes de *Fucus vesiculosus* au plus haut de la mer, où ils sont plus bruns ; si on les broie dans l'eau de mer, la diatomine se dissout seule, à l'exclusion de la chlorophylle, et l'on obtient un liquide mucilagineux qui filtre difficilement. Il est jaune, d'un jaune un peu roux, un peu sale, ayant exactement la nuance de la *Pelagia*. Quand on ajoute à ce liquide de l'ammoniaque, il se forme un précipité floconneux qui entraîne la matière colorante et laisse le liquide complètement incolore. Nous avons là, sans doute, un point de départ expérimental pour la solution définitive du problème qui nous occupe, pour rechercher si la couleur verte de la mer, particulièrement sur nos rivages, ne doit pas être attribuée à une très faible quantité de diatomine en solution dans l'eau naturellement bleue de l'Océan.

De Lorient à Terre-Neuve *

Notes de voyage

Par G. Pouchet

. . . . . .

3 juillet. — Un Sébaste (*Sebastes... ?*) ramené de 500 à 600 mètres dans un casier est encore bien vivant. On le place dans l'eau, on le photographie. Il respire et réagit énergiquement quand on le touche ; mais il paraît absolument insensible à la lumière. Je ne puis arriver à provoquer aucun mouvement de ses yeux [1].

* Revue scientifique, 1887-2, p. 492 et suiv.

[1] On sait leur mobilité chez les Poissons, et en particulier chez le Grondin, qui appartient à un groupe tout voisin.

Faut-il admettre que l'intensité du jour, auquel il n'est pas habitué, l'a paralysé ? Nous sommes ramenés ici à la question de l'obscurité de la mer[1], question évidemment mal posée.

Il est bien certain que les substances chimiques, connues comme les plus sensibles à l'action de la lumière, ne paraissent plus être impressionnées à une profondeur relativement faible ; mais cela ne nous donne, en aucune façon, le droit de conclure que certaines radiations lumineuses — soit les mêmes affaiblies au point de ne plus impressionner ces substances sensibles, soit d'autres appartenant à une autre région du spectre — ne pénètrent pas plus profondément, ne vont pas exciter jusqu'au fond de l'Océan les éléments nerveux aptes à les recevoir et à les transformer en perceptions.

Nier que la lumière — une lumière suffisante à impressionner la rétine des animaux vivant au fond de la mer — pénètre jusqu'à eux, parce que nous ne pouvons avoir la preuve expérimentale de l'action de cette lumière sur un composé chimique, revient à nier l'acuité olfactive du Chien, parce que nous sommes incapables de déceler, par des procédés chimiques, la présence des parcelles odorantes qui affectent sa muqueuse.

Nous avons dit ailleurs[2] notre pensée sur les rares animaux regardés comme aveugles, qu'on a ramenés du fond de l'Océan. Il n'y a, en réalité, d'animaux aveugles que ceux vivant soit dans le grand milieu opaque, la Terre ; soit même dans les milieux simplement translucides, comme est le corps des animaux. Si le fond de la mer était véritablement obscur à la manière d'une anfractuosité du sol, si les animaux qui l'habitent n'étaient, comme ceux des cavernes, appelés qu'à de rares intervalles à voir la lumière du ciel plus ou moins affaiblie, il est infiniment probable que ces animaux auraient tous, ou presque tous, les yeux atrophiés. La loi est trop générale pour les espèces de tout genre vivant dans l'obscurité — obscurité vraie, celle-là — des milieux non transparents, Mammifères, Amphibiens, Poissons, Insectes, Crustacés, Mollusques, Vers, pour qu'il n'en soit pas de même au fond de l'Océan, si celui-ci était dans des conditions identiques d'obscurité.

Les animaux signalés jusqu'ici comme aveugles, au fond de l'Océan, ne sont qu'en infime minorité, et, sans doute, une étude anatomique attentive en diminuera encore le nombre, plusieurs d'entre eux n'ayant probablement été regardés comme aveugles qu'à cause du défaut de pigment dans l'organe oculaire. On pourrait citer telle figure donnée de prétendus Crustacés aveugles, sur laquelle il est aisé de discerner la place de l'œil, fort réduit peut-être et incolore, mais certainement existant. L'œil d'un Crustacé, d'ailleurs, n'est pas l'éminence, plus ou moins

[1] M. Forel, dans un travail récent (*La Pénétration de la lumière dans les lacs d'eau douce, Festschrift* de Kölliker, 1887), admet encore l'obscurité absolue du fond des eaux.

[2] Voy. *Sur les photographies stellaires et les animaux aveugles des eaux profondes* (Soc. de biolog., 13 mars 1886).

sphérique, qui en marque habituellement la place. Une étude anatomique profonde et attentive peut seule trancher la question de la présence ou de l'absence de l'organe. Les plus aveugles, à ce compte, des animaux, les plus dépourvus de toute trace extérieure d'organe oculaire seraient certaines larves de Diptères, et nous avons montré depuis longtemps, qu'elles sont parfaitement sensibles à la lumière[1].

Nous savons qu'à défaut de radiations lumineuses d'origine sidérale, on a admis que les animaux du fond de la mer étaient, à eux-mêmes, une source de lumière. C'est là une autre hypothèse en faveur de laquelle on ne saurait malheureusement fournir aucune preuve. La phosphorescence de la substance organique est le plus souvent le signe d'une diminution notable, de la disparition prochaine ou déjà accomplie du mouvement vital ; en sorte que les phénomènes lumineux qui ont pu être observés sur des animaux ramenés des grandes profondeurs par la drague et déjà morts ou, en tout cas, mourants, ne sauraient être invoqués comme un argument sérieux, à moins de constatations anatomiques démontrant l'existence d'un tissu spécial et plus ou moins localisé, dont la propriété lumineuse serait d'autre part bien établie chez des espèces connues. Or tel ne paraît pas être le cas.

. . . . . .

7 août. — Le commandant Robinson, de la marine anglaise, chargé d'étudier le régime des courants et des glaces dans les parages du Banc de Terre-Neuve, veut bien nous donner quelques renseignements sur le résultat de ses informations. Elles résultent d'un questionnaire remis aux capitaines anglais qui vont pêcher sur le Banc. Une cinquantaine environ ont répondu, en sorte que l'enquête pourra bientôt aboutir. Leurs observations concernent spécialement le Trou de la baleine où ils stationnent de préférence, tandis que nos « banquiers » restent plus au large à l'accore du Banc[2]. Ces capitaines déclarent assez uniformément que, dans les parages du Trou de la baleine, le courant tourne avec la marée, comme le soleil : est-ouest, sud-nord, ouest-est[3]. Mais M. Robinson n'a pu encore obtenir de renseignement bien précis sur ce qui se passe ensuite, entre le moment où le courant s'est établi ouest-est et le moment où il revient est-ouest.

Le régime des glaces autour de Terre-Neuve, toujours d'après M. Robinson, serait le suivant : au début de l'hiver, une immense banquise descend du nord en poussant devant elle les phoques du détroit de Davis et vient envelopper Terre-Neuve. Toutefois elle ne joint communément la terre qu'au nord de

[1] Voy. *Rev. et mag. de zoologie*, 1872.

[2] On comprend tout l'intérêt qu'il y aurait à donner à nos capitaines des instructions et un questionnaire identiques à ceux que reçoivent les capitaines anglais.

[3] Ce mouvement de giration, s'il s'étend jusqu'au fond, suffirait à expliquer cette curieuse dépression du Banc connue sous le nom de Trou de la baleine.

Saint-Jean, vers le cap Saint-François. A partir de là vers le sud, la banquise laisse en général un chenal plus ou moins étroit entre elle et la côte. Ce chenal est large quelquefois d'un mille seulement ou même moins. En tout cas, Saint-Jean n'est presque jamais bloqué et demeure en communication par ce chenal qui longe la côte sud de l'île, avec la Nouvelle-Écosse.

Quant aux glaces flottantes dites icebergs, on en voit sur la côte de Terre-Neuve à toute époque de l'année, descendant du nord. Nous en rencontrons une, le 9 août, par le travers du cap Race, et quelques jours avant, le célèbre yacht *DAUNTLESS* en rencontrait une par lat. 43°, long. 53°. Les plus hautes mesurent 150 pieds au-dessus de l'eau. Souvent, nous dit M. Robinson, elles présentent à leur surface une couche de terre et de cailloux de plus d'un mètre d'épaisseur. Ce sont sans doute ces cailloux qu'on drague en abondance sur certaines régions du Banc.

Conférence sur son voyage aux Açores et à Terre-Neuve *

Par G. POUCHET

La traversée de l'Atlantique que je viens de faire avec le yacht à voile l'*HIRONDELLE* ou j'avais le plaisir d'être l'hôte du Prince Albert de Monaco, devait terminer une grande expérience poursuivie en commun par nous depuis trois ans sur les courants de l'Atlantique nord, du côté de l'Europe.

En réalité, ces courants sont fort mal connus ; tout est confusion jusque dans les noms qu'on leur donne. Encore aujourd'hui beaucoup de personnes croient que le courant d'eaux chaudes qui sort avec une vitesse presque torrentielle du détroit de Floride, le *Gulf Stream*, après avoir traversé tout l'Atlantique vient réchauffer la côte européenne et donner à la Norwège son climat relativement tempéré. On sait aujourd'hui que le Gulf-Stream est un courant local, superficiel qui n'a d'intérêt que pour la géographie américaine et qui n'exerce aucune influence appréciable sur le mouvement non plus que sur la température des eaux européennes, c'est-à-dire dans toute la région orientale de l'Atlantique, à l'est du 50e degré de long. O.

Il est certain cependant que dans toute cette région un vaste mouvement de la surface des eaux se manifeste, qui les porte vers le nord-est, l'est et le sud-est. A ce courant qui seul intéresse la météorologie européenne, on a donné divers noms ; on a même proposé (en Allemagne) de lui attribuer désormais le nom du Gulf Stream auquel on donnerait un nom nouveau : *Courant de Floride*.

* Bull. Cercle St-Simon, nº 2, 21 janvier 1888, p. 8. Séance du 27 novembre 1887. (Société historique).

Mais il est bien peu probable que les Américains, qui sont en somme seuls intéressés dans l'affaire, se prêtent à cette singulière combinaison. Le mieux est de désigner le grand mouvement de surface dont nous parlons, par un nom nouveau : celui de *Courant européen* semble convenir de toute façon.

Le Courant européen aurait deux branches qui naissent ou tout au moins semblent naître comme d'un immense château d'eau, dans une vaste région de l'Atlantique située sur le prolongement de l'axe du Groenland et par le travers de la France, à peu près à l'intersection du 45e parallèle et du 45e méridien. La branche méridionale fortement incurvée vers les Açores et les Canaries irait rejoindre le grand courant équatorial. L'autre branche marcherait au nord-est presque en ligne droite entre l'Islande et l'Écosse jusqu'au cap Nord et à cette espèce de cul-de-sac où la mer reste libre en hiver autour de la côte laponne.

L'existence de ce courant portant au nord-est ne saurait guère être mise en doute, bien que les observations directes, par la dérive des navires, fassent à peu près défaut dans une région de l'Atlantique en somme peu fréquentée des marins et tourmentée par les ouragans. Mais on ne saurait guère expliquer autrement la température plus élevée de la mer sur la côte de Norwège et divers cas de flottage enregistrés depuis nombre d'années. Il est bien difficile d'attribuer à la seule action des vents ces graines si nombreuses des Antilles recueillies dans les fjords de la Norwège. Ce n'est certainement pas le Gulf Stream de Franklin qui a porté là ces épaves ; il suffit qu'il les ait jetées dans ce château d'eau central alimenté de divers côtés et qui semble verser une immense nappe d'eau étalée en éventail sur tout l'Atlantique nord à l'est du 45e degré de longitude.

Quelle est l'origine de ce grand mouvement de la surface des eaux européennes ? On penche aujourd'hui à l'attribuer surtout à l'action des vents. Leur puissance comme agents de dénivellation de l'eau est bien connue. Les alizés agiraient d'abord ; les eaux équatoriales poussées par eux, déviées contre l'obstacle des Antilles et de la côte américaine, seraient forcées de prendre leur écoulement par le nord. Les contre-alizés, à leur tour, détermineraient la direction de la branche S.-E. Quant aux eaux de la branche N.-E., la route qu'elles suivent est celle bien connue des tempêtes, entre l'Amérique et l'Europe.

Cependant, il s'en faut que tous les cas de flottage observés soient en rapport avec cette manière de concevoir la circulation des eaux superficielles de l'Atlantique Nord. C'est ainsi que les bouées, enlevées par le gros temps sur la côte des États-Unis, vont généralement, dit-on, aux Açores et jamais en Norwège, où elles devraient être, semble-t-il, plus directement portées. C'est ainsi que les sargasses, les herbes flottantes arrachées aux roches des Bermudes et des Antilles, paraissent ne point franchir le 35° longitude O., et n'être entraînées, d'ailleurs, ni vers les Açores, ni vers l'Europe, tandis que d'autres épaves indiquent un courant en ce sens.

Entre les deux branches extrêmes de cette grande nappe d'eau en éventail, à laquelle nous donnons le nom de Courant européen, la surface de l'Atlantique

semble animée d'un mouvement lent, à peu près parallèle à l'équateur. C'est ce qu'indiquent tout au moins certains cas de flottage. Le 19 avril 1882 le journal le *Finistère* publiait la nouvelle suivante :

« Dimanche dernier, 16 avril, un pêcheur de Concarneau recueillait au large une bouteille contenant un écrit en langue hollandaise dont voici la traduction : A bord de l'*Herder*, 14 juillet 1881, par 34° lat. N. et 45° long. W. de Greenwich. Tout semble perdu. Le navire est défoncé et sur le point de couler. Écrit par A. Rew de Hambourg, en route de New-York à Hambourg ».

Le point indiqué, fort loin de la route habituelle des paquebots, me mit en défiance de quelque mystification. J'écrivis à Hambourg et j'appris que le *HERDER*, seul navire de ce nom dans la marine allemande, à la date du 14 juillet 1881, naviguait en parfait état, non par 34° lat. N. et 45° long. W., mais par 47° lat. N. et 34° long. W. de Greenwich. Il était de toute évidence que la bouteille avait été jetée à la mer par un mauvais plaisant, passager du *HERDER*, mais mal renseigné et qui avait confondu les deux ordonnées du point. Le fait en lui-même serait de fort peu d'intérêt si nous n'avions pas à le rapprocher d'un autre cas de flottage que M. Ad. Grimaux vient de découvrir en dépouillant les papiers de Lavoisier et qu'il a bien voulu me communiquer. L'auteur du document que je reproduis ici en entier, habitait Fresnay-le-Vicomte, dans le Maine, et prenait le titre de « Fourrier des logis de la Reine ».

Expériences et observations faittes à la mer pour déterminer la direction des courants par François Hatton Lagainiere.

Après avoir séjourné pendant quatorze ans dans l'Isle Saint-Domingue et m'estre livré a des observations meteorologiques suivies pendant huit années consécutives sur la quantité d'eau de pluye qui tombe dans le quartier de Saint Marc mon domicile, je m'embarquai pour revenir en France, le seize aoust 1763, dans le navire le Solide de Bordeaux commandé par le S. Viviat. Je crus devoir proffiter du temps de la traversée qui dura cinquante-six jours pour faire quelques expériences propres a déterminer la direction des courants. Si elles n'ont pas eu un succès aussy complet que je l'aurois désiré, elles pourront au moins donner l'idée d'entreprendre un travail suivi sur cet objet, et il est assez important pour mériter toute l'attention du Gouvernement.

Je jettai à la mer quatorze bouteilles pendant quatorze jours, je renfermois dans ces bouteilles une carte sur laquelle etait ecrit le jour qu'elle avoit été jettée, par quelle latitude, par quelle longitude, et d'ou etoit le vent, avec prière à tous ceux qui les trouveroient de quelques nations qu'ils fussent de vouloir bien faire annoncer dans la gazette de France, le jour et le lieu ou elles auroient été trouvées, et si c'etoit en pleine mer de marquer exactement la latitude et la longitude ; pour empescher que le balancement continuel des bouteilles n'effaçât ce qui étoit écrit sur les cartes j'avois eu la précaution de former un petit roulleau de chaque carte, de l'envelopper de dix à douze couches de papier et de le fisseler bien serré d'un bout à l'autre ; enfin après avoir bien frappé les bouchons je les couvrois de cire d'Espagne pour les garantir plus longtemps de la pourriture et pour exciter davantage la curiosité de ceux qui les rencontreroient en mer j'avais introduit dans chacune des bouteilles un quarré de papier blanc entièrement développé.

Une des bouteilles qui avoit été jettée le premier octobre 1763, à midy précis par la latitude de 47 degrés sept minutes nord, et par la longitude de 35 degrés dix-sept minutes, le vent étant nord est, arriva le 29 fevrier suivant à la côte de Plœmur en bretagne, une demie lieue à l'Est de Pennemark ; le paysan qui la trouva la porta au S. Lauvarzin Porlodec, commis aux classes à l'Audierne, qui l'envoya à M. Hocquart, Intendant de la marine à Brest ; ce dernier en donna avis au Commissaire ordonnateur de Bordeaux, le chargea d'en parler à MM. Guilhou et fils, armateurs du navire le Solide, qui me firent sçavoir. Je joins à la suite de ce memoire coppie des différentes lettres dont les originaux sont entre mes mains.

Hatton Lagainière compte la latitude à partir de l'île de Fer vers l'Ouest. Le point qu'il indique est presque exactement celui où a été jetée la bouteille du *HERDER*. A un siècle de distance, les deux épaves ont donc fait même route. N'est-ce pas le meilleur argument à opposer — s'il en était besoin — à ceux qui parlent si inconsidérément de modifications survenues dans les grands courants océaniques, où il faut voir, au contraire, un des phénomènes les plus immuables de la planète ?

En somme, force est bien de reconnaître que les cas de flottage relevés dans l'Atlantique, aussi bien que les dérives constatées par les marins, n'ont fourni jusqu'ici que des données assez vagues sur le mouvement de la surface de l'Atlantique à l'E. du 50e degré de long. O. Il n'y a pas dix ans que la plupart des météorologistes en France et en Norwège croyaient encore à une influence du Gulf Stream se faisant sentir jusqu'en Europe. C'est au cours d'une mission dont j'avais été chargé par le gouvernement aux pêcheries de baleines du Nord que des doutes me vinrent, à la suite de recherches sur la température de la mer sur les côtes de Norwège et de Laponie. Je résolus de saisir la première occasion de tenter une grande expérience. Le reliquat d'une somme importante, qui m'avait été allouée par le Conseil municipal de Paris, pour l'achat d'un squelette de cachalot, me permettait tout au plus d'entrevoir la réalisation de mon projet. Il s'agissait d'aller jeter un certain nombre de flotteurs au milieu de l'Atlantique, à mi-route du canal de Floride et de l'entrée de la Manche.

C'est alors que le Prince Albert de Monaco m'offrit sa collaboration. Il apportait à l'œuvre, désormais commune, l'énergie d'un marin éprouvé, disposant d'un excellent yacht, l'*HIRONDELLE*, avec tous les moyens d'action que donne la fortune, et surtout le poids de sa situation qui allait nous assurer un concours des gouvernements étrangers que, seul, je n'eusse jamais trouvé.

Je traçai le programme de l'expérience. Il fut exécuté de tous points dans l'été de 1885, avec un plein succès. Sur 150 flotteurs (sphères de cuivre, fûts, bouteilles), 15 furent recueillis aux Açores, sur la côte du Portugal, à Madère et aux Canaries. Jetés par la même longitude que les bouteilles de Hatton Lagainière et du *HERDER*, mais à 5 degrés plus au sud environ, nos flotteurs avaient suivi la branche S.-E. du Courant européen. Le résultat dépassait mon attente. Les derniers travaux d'océanographie tiennent déjà compte de cette

Cette bouteille ayant été trouvée à quelques minutes près à la même latitude à laquelle elle avoit été jettée, et ayant fait en cinq mois environ quatre cens lieues en longitude il sembleroit en résulter contre l'opinion de la plupart des Physiciens que les courants de la mer qui partage l'Amérique septentrionale de l'Europe ont leur direction la plus ordinaire de l'ouest à l'est : une autre raison semble confirmer cette opinion, c'est que le plus grand nombre des navires à leur retour de l'Amérique se trouvent le plus souvent aux aterrages de France en avant de leur estime, erreur qui ne doit venir que des courants qui portent de l'ouest à l'est...

La bouteille dont on vient de parler est la seule dont j'aye reçu des nouvelles ; depuis mon retour sans doute les autres ou n'ont point été rencontrées ou sont tombées entre les mains de personnes que n'ont pas jugé à propos d'en rendre compte.

expérience de 1885 comme d'un point de repère important pour la connaissance des courants du nord de l'Atlantique. Le Conseil municipal de Paris, de son côté, m'allouait une nouvelle somme de 5000 francs pour continuer ses recherches.

La campagne de 1886 fut employée par le Prince Albert à aller jeter 500 flotteurs (bouteilles) à 1000 milles au large de la côte de France, le long du 22e méridien. Une quarantaine de ces bouteilles ont été retrouvées sur les rives française et espagnole du golfe de Gascogne ; elles avaient marché à l'ouest en inclinant un peu vers le sud.

La campagne de 1887 devait être décisive. Nous avions résolu, le Prince Albert et moi, de jeter cette fois un long cordon de flotteurs entre les Açores et Terre-Neuve, de façon à déterminer exactement les origines de la branche N.-E. du Courant européen. Ces flotteurs, selon toutes les prévisions, accompliraient un grand trajet, séjourneraient longtemps à la mer ; de plus, ils allaient être portés sur une grande étendue de côtes, quelques-unes désertes. Il les fallait donc aussi nombreux que possible et parfaitement étanches, dans les meilleures conditions de durée. Le volume à leur donner avait bien son importance, mais il paraît préférable, en somme, de le sacrifier au nombre. Or nous avions résolu de ne pas lancer moins de 1000 flotteurs.

La disposition adoptée fut la suivante : dans un ballon de verre fort on a introduit un tube de verre également fermé à la lampe et contenant le document écrit. Le ballon, bouché d'un excellent bouchon, encapuchonné de glu marine, est enveloppé lui-même d'une chemise de cuivre rouge en deux pièces agrafées au marteau, afin d'éviter les soudures. A l'intérieur de cette enveloppe métallique, le ballon de verre est noyé dans la poix. Le poids total du flotteur est d'environ trois kilogrammes, avec une force ascensionnelle dans l'eau de mer de trente grammes environ, jugée suffisante pour contrebalancer la charge des animaux ou des végétaux qui pourraient s'attacher au cuivre. On a eu soin de mettre dans le ballon de verre quelques petits cailloux afin de donner l'idée d'ouvrir. Quant au document, il est ainsi conçu :

« *Dans le but d'étudier les courants* ce papier a été jeté à la mer sous l'inspiration du professeur Pouchet, avec la participation du Conseil municipal de Paris (délibération du 26 mars 1886), pendant la troisième campagne scientifique du Yacht monégasque l'*Hirondelle* commandé par S. A. le Prince héréditaire de Monaco. — Toute personne qui trouvera ce papier est priée de le faire parvenir aux autorités de son pays pour être transmis au Gouvernement français, en indiquant les circonstances dans lesquelles ce papier aura été retrouvé ».

Albert, Prince hér. de Monaco.
G. Pouchet, Professeur au Muséum de Paris.

La recommandation qui termine le document est répétée en russe, norwégien, danois, anglais, allemand, hollandais, espagnol, portugais et en arabe du Magreb.

Chaque document détaché d'une souche porte son numéro d'ordre reproduit à l'extérieur du flotteur.

Le long travail de fermeture de ces mille flotteurs, avait été fait dans mon laboratoire du Muséum et le 1er juin, ils étaient embarqués à Lorient à bord de l'*Hirondelle*, où le Prince Albert m'avait invité à l'accompagner.

Après avoir touché les Açores où on nous remit quelques-uns de nos flotteurs de 1885, l'*Hirondelle* faisait route pour Terre-Neuve, à travers une région de l'Atlantique quelque peu redoutée des marins. Cependant nous n'eûmes guère qu'une journée de mauvais temps, et le lancement des flotteurs n'en subit aucune interruption. Malheureusement, avec un navire à voiles, on ne peut pas, comme avec la vapeur, tenir toujours la route que l'on veut. Nos flotteurs n'ont pas été, comme nous l'aurions désiré — par dilettantisme d'expérimentateurs — lancés suivant une ligne bien régulière, à intervalles bien égaux. Mais au fond, la chose a peu d'importance : ce n'est pas quelques milles plus au nord ou au sud, ce n'est pas quelques centaines de mètres en plus ou en moins dans la distance d'un flotteur à l'autre, qui peuvent influencer le résultat.

Le lancement n'a pas pris moins de douze jours sans interruption. Un loch automatique, en marquant la distance parcourue, donnait l'indication aux timoniers. Ceux-ci avaient imaginé une sorte de chapelets de nœuds, pour compter sans erreurs les coups du loch ; le moment arrivé, ils clamaient : « Boule ! », et un flotteur était lancé par dessus bord. Bientôt nous le perdions de vue, pendant que les pétrels venaient reconnaître, en rasant la vague, cet objet brillant et nouveau. Le numéro du flotteur avait été relevé avec soin, l'heure était également notée, afin de calculer plus tard le lieu précis où chaque flotteur avait été jeté à la mer.

Nous avons commencé le lancement de nos flotteurs à 100 milles environ à l'O. de Florès des Açores, quand nous étions certainement encore dans la zone d'influence de la branche S. E. du Courant européen. Nous avons terminé le lancement à 100 milles environ à l'E. de la pointe septentrionale du Grand banc de Terre-Neuve, quand nous naviguions déjà depuis quelque temps dans les eaux froides et pauvres du courant polaire qui descend le long de la côte américaine.

Ce vaste cordon de flotteurs réparti sur près de 600 milles d'étendue, coupe certainement la direction de tous les courants pouvant venir des régions équatoriales et allant vers le nord de l'Europe.

Où s'arrêteront-ils ? Des premiers lancés, en quittant les Açores, plusieurs seront très certainement ramenés en arrière par la branche S.-E. du Courant européen : on en signale un déjà. Des derniers lancés, dans les eaux du Grand banc, quelques-uns sans doute descendront avec le courant froid sur la côte américaine. Quant aux autres, à ceux du centre de la ligne de lancement, ils devront, d'après tout ce que l'on admet, aller en Norwège et même jusqu'au Spitzberg et à la Nouvelle-Zemble. Mais pour cela, plusieurs devront passer

dans les eaux mêmes où ont été jetées la bouteille du *Herder* et celle de Hatton Lagainière. Il ne faudrait donc pas être surpris de voir un de ces jours, quelqu'un de nos flotteurs atterrir sur la côte de France. Ceux qui auront pris la route du N.-E. mettront un plus long temps ; on peut, d'après certaines données, calculer qu'il leur faudra neuf mois environ pour toucher les parages de Bergen et de Lofoten. D'autres seront peut-être jetés aux rivages déserts des terres arctiques, et plus tard retrouvés. Le document, protégé comme il l'est, peut braver des siècles.

Ayons donc confiance. Le succès des campagnes de 1885 et de 1886 permet de bien augurer de celle de 1887. Toutes trois forment ensemble la plus vaste expérience qui ait jamais été entreprise sur les courants de la mer, et c'est la France qui en a l'honneur.

La couleur des eaux de la mer et les pêches au filet fin *

Par G. Pouchet

Professeur au Muséum d'histoire naturelle, à Paris.

Au cours du dernier voyage scientifique de l'*Hirondelle*, où le Prince Albert de Monaco m'avait offert la plus gracieuse et la plus généreuse hospitalité, mon attention a été appelée sur la couleur de la mer. Je l'ai notée journellement en ayant soin de ne pas m'en rapporter dans la plupart des cas au témoignage de mes yeux seuls.

Malgré les nombreuses opinions émises jusqu'ici sur la couleur bleue ou verte de la mer, il ne semble pas qu'aucune solution absolument satisfaisante du problème ait été donnée. Mais peut-être ne la cherchait-on point où elle est. Mes études longtemps poursuivies sur les péridiniens m'ont conduit, au cours de ce voyage à travers l'Atlantique-Nord, à une explication nouvelle. Elle m'a été suggérée par un fait particulier que j'ai pu observer et vérifier tout à l'aise.

C'était le 21 juin dans des eaux nettement bleues. On voyait du bord un grand nombre de méduses paraissant vertes (*Pelagia noctiluca*). Tirées de l'eau elles étaient jaunes. Leur couleur verte dans la mer était donc une combinaison de leur couleur jaune propre, et de la couleur bleue de l'eau. Or, il existe dans l'Océan ou au moins dans certaines parties de l'Océan, en quantité prodigieuse, de la matière jaune allant du jaune clair au jaune brun et au rouge (série xanthique). C'est la diatomine et ses dérivés, répandus en abondance dans mille espèces de végétaux monocellulaires, d'algues microscopiques, individuellement invisibles, mais qui, en suspension dans ces eaux jusqu'à une certaine profondeur

* Assoc. Franç. Avancement des Sciences, Toulouse, 2e p., p. 596. 1887.

(actuellement indéterminée), combinent peut-être leur coloration à celle des eaux pour produire en grand, partout où ils sont suffisamment abondants, le phénomène qu'offrait la *Pelagia*, et faire l'eau verte. L'eau bleue serait celle où cette vie végétale fait défaut, ou tout au moins est considérablement réduite.

On peut à ce propos se demander s'il ne conviendrait pas d'étendre la qualification de végétaux à toute une classe d'êtres communément rangés jusqu'ici avec les animaux. Nous voulons parler des Foraminifères et des Radiolaires. Sans doute, les termes *animal* et *végétal* sont essentiellement conventionnels et taxonomiques. En réalité, le règne organique est *un* et ne souffre point de division fondamentale. Il n'en est pas moins vrai que ces dénominations d'*animal* et de *végétal* répondent à deux modes vitaux un peu différents et c'est précisément à ce point de vue qu'il serait peut-être logique de rapprocher des végétaux les êtres dont nous parlons. On peut y voir des végétaux unicellulaires dépourvus de paroi cellulosique. Leurs charpentes calcaires ou siliceuses peuvent être comparées à des productions raphidiennes. L'absorption de matières étrangères solides dans leur substance vivante, quand elle se produit, ne diffère pas de ce que nous montrent les plasmodies des myxomycètes. Ajoutons ce dernier caractère que les êtres en question, comme les végétaux, ne présentent jamais de cils vibratiles proprements dits, comparables à ceux des Infusoires. Enfin, une dernière analogie est qu'ils offrent communément dans leur substance, des dépôts de diatomine ou de ses dérivés bruns et rouges. Et à cet égard, nous pouvons les ranger à côté des végétaux microscopiques, Algues, Diatomées, Péridiniens, etc... comme agents de la coloration verte des eaux de la mer.

Dans cet ordre d'idées la couleur des eaux se trouverait donc ramenée, comme cela a été d'ailleurs déjà indiqué, à un facteur biologique. Elle dépendrait simplement de la nature, de l'abondance absolue et relative des formes microscopiques qui les peuplent à la surface et plus ou moins profondément [1].

Il convient de se représenter les eaux de la mer comme soutenant en quelque sorte des nuages de diverses poussières vivantes qui se déplacent horizontalement, montent ou descendent sous des influences que nous ne savons pas encore déterminer, portés par les courants, ou poussés par les vents, cherchant ou fuyant la lumière, en quête d'un optimum thermique [2]. Les pêches au filet fin, pratiquées

[1] Sous ce rapport, il est évident que la pêche au filet fin pratiquée seulement à la surface ne pourra pas toujours renseigner d'une manière suffisante. Au voisinage du Banc de Terre-Neuve, sur des eaux nettement vertes, la pêche de surface était extraordinairement pauvre en formes végétales ; elle n'était pas d'ailleurs plus riche en formes animales. Mais nous ne doutons pas que les pêches profondes eussent donné un dépôt notable de végétaux. On sait en tous cas que la diatomine est soluble dans l'eau.

[2] Les limites de ces nuages vivants sont parfois singulièrement nettes, comme le montre l'exemple suivant. Le 1er août, l'*Hirondelle* est mise en panne dans un but spécial. Pendant ce temps un de mes compagnons et moi faisons de chaque bord une pêche au filet fin, avec des engins pareils. Tandis qu'après le même temps de pêche l'un de nous ramenait un seul Copépode d'une espèce déterminée, l'autre en prenait des quantités considérables. Le premier avait pêché du côté où le navire dérivait ; sa récolte représentait donc l'état normal de la surface de la mer. Il faut admettre que la coque, en dérivant, produisait un remous

à quelques milles les unes des autres en plein Océan, présentent parfois les caractères les plus tranchés. Elles peuvent aussi différer selon l'heure en un même lieu. Il est très certain que la nuit en général appelle à la surface des populations de Crustacés copépodes plus ou moins lucifuges, qui s'enfoncent pendant le jour dans la profondeur. Mais il n'en est pas toujours ainsi. Une pêche faite le 14 juillet aux Açores (eaux bleues) n'a donné que des Copépodes et pourtant nous avons pu constater qu'ils étaient un peu lucifuges. Une autre pêche du 20 juillet (eaux bleues) à $5^h 15$ du soir est encore plus caractéristique par le nombre de Copépodes recueillis.

D'autres fois, au contraire, ce sont des végétaux monocellulaires, Bacillariés, Péridiniens, Radiolaires que le filet fin rapporte en abondance. Le dépôt est alors caractéristique. Il est formé de flocons jaunâtres (couleur de la diatomine) ; on y trouve très peu de Crustacés ou de Mollusques : la vie végétale y domine. Ce sont les eaux côtières de l'Atlantique-Nord, les eaux vertes, peut-être toutes les eaux des mers froides et peu salées [1].

Dans les eaux où domine la vie animale, au contraire, la couleur de ce dépôt varie ; il peut être brunâtre (certains Copépodes, Mollusques), ou bleu d'azur (autres Copépodes, Doliolums), ou même rosé (autres Copépodes, Ptéropodes). Ce sont en général les eaux bleues [2], peut-être toutes les eaux des mers chaudes. On notera que les eaux, en apparence les plus pures, sont souvent celles où la vie est la plus intense, celles où les formes végétales plus ou moins inertes, font place à l'activité de formes animales supérieures.

En haute mer, le dépôt des pêches au filet présente parfois à peu de distance un caractère nettement tranché. Les pêches du 23 juillet — lat. 42°, long. 42° — donnent un dépôt jaune bien caractérisé ; celles du 24 — lat. 41°, long. 43° — un dépôt bleu par les Copépodes. Le 26 juillet — lat. 41° 15', long. 43° — dans des eaux « peu bleues, légèrement verdâtres [3] », le filet fin ramène comme forme dominante des quantités de Bacillariés. Le dépôt est conservé comme type d'eaux

ascendant de l'eau qui avait passé sous sa quille, et faisait remonter avec elle une faune cantonnée à 2 ou 3 mètres au-dessous de la surface et qui était ainsi venue s'y faire prendre. Une pêche pratiquée à une soixantaine de mètres, a montré que jusqu'à cette profondeur tout au moins, les mêmes Copépodes étaient très abondants.

[1] Sur les côtes de Norwège, nous nous rappelons avoir vu, de Tromsoë au Varangerfjord, la mer pleine de végétaux pélagiques visibles à l'œil nu, en abondance extraordinaire, au point que nous avions fait photographier un bocal rempli d'eau directement puisée à la mer. Ces végétaux rendaient au bout de quelques minutes le filet fin qui s'en remplissait, tout brun ; il devenait vert dès qu'on l'exposait à l'air. Des laminaires, recueillies dans le Varangerfjord, nous ont d'ailleurs présenté le même phénomène, verdissant rapidement à l'air. — Wyville Thomson, dans ses rapports sommaires sur l'expédition du *Challenger*, note aussi l'abondance des végétaux microscopiques dans les mers froides, mais sans signaler le rapport que cette abondance peut avoir avec la couleur des eaux.

[2] Il est à remarquer que ces colorations nettement tranchées, jaunes, bleues, roses, des dépôts recueillis par le filet fin, ne se retrouvent plus au rivage. Nous parlons spécialement de Concarneau, où nous avons pratiqué des centaines de ces pêches. Le dépôt y est certainement gris, sans doute par suite du mélange des matières inorganiques et des détritus de toutes sortes qui s'y rencontrent.

[3] Expression de notre journal.

où domine la vie végétale. Il est probable, toutefois, que celle-ci ne s'étendait pas profondément, ce qui explique la couleur intermédiaire de l'eau. Aux dates indiquées, en effet, du 23 au 26 juillet, nous avions couru avec des vents contraires sur la limite des eaux bleues et des eaux vertes. Le 31 juillet, dans des eaux nettement vertes, non seulement les pêches de surface mais aussi une pêche pratiquée à 50 ou 60 mètres de profondeur, rapportent exclusivement des végétaux ; ils sont même beaucoup plus nombreux dans le fond qu'à la surface. Un second coup de filet donné à la même profondeur, le soir du même jour, ramène également, comme forme dominante, des Globigérines et des végétaux monocellulaires [1].

En examinant ces pêches profondes, on peut remarquer qu'elles ne sont d'aucun profit pour l'étude de l'évolution des végétaux qu'on y trouve. Tous paraissent arrêtés dans une période d'état. Aucun ne présente de traces de segmentation indiquant un processus évolutif. Nous avons constaté le même fait dans une autre série de pêches pratiquées à la même profondeur vers le 1er août.

En somme voici pour notre voyage, pendant les mois de juin, juillet, août 1887, la distribution des eaux bleues et vertes, animales et végétales dans l'Atlantique-Nord, (Pl. II), telle que nous l'avons relevée en faisant route de Lorient aux Açores, des Açores à Saint-Jean de Terre-Neuve, de Saint-Jean à New-York et de New-York au Havre :

Le 11 juin — environ par lat. 46°, long. 18° — à 300 milles de toute terre et par 3000 mètres de fond, les eaux sont nettement vertes. Le 12 juin — environ par lat. 45°, long. 19° — nous notons leur couleur comme douteuse, tendant à devenir bleue. Le 15 juin — par long. 42° 30', lat. 21° — nous sommes définitivement dans les eaux bleues, que nous ne quitterons plus jusqu'aux Açores [2], et des Açores jusqu'à moitié route du banc de Terre-Neuve. En ce point — lat. 41°, long. 41° — la mer paraît moins bleue ; le soir, cependant, on note qu'elle est nettement bleue. Du 23 au 26, nous courons NE-SO et SO-NE ; nous sommes sur la limite des eaux vertes [3]. A partir du 26 juillet — lat. 41°, long. 43° — nous ne les quittons plus. Au retour, de New-York à la pointe du Banc de Terre-Neuve et de celui-ci aux Scilly, la mer est verte : sa couleur est notée et contrôlée chaque jour. Dans la Manche, la coloration verte devient beaucoup plus intense. A l'arrivée en rade du Havre, pendant le jusant, nous franchissons la limite subite de ces eaux vertes et des eaux jaunes de la Seine.

Il semble en conséquence que la limite des eaux vertes pour l'Atlantique-Nord, à l'époque de notre voyage, puisse être tracée par un arc de cercle ouvert

[1] Ces pêches à 60 mètres présentent toutefois une notable quantité de Nauplius ; on peut supposer que les adultes de l'espèce étaient plus profondément enfoncés ou s'étaient éloignés sous quelque influence (actinique, thermique ?) indéterminée.

[2] Le 15 et le 16 juillet, en rade de Horta (Fayal), l'eau est sale, verdâtre ; le filet fin rapporte presque exclusivement des Radiolaires.

[3] Voir ci-dessus.

vers le S., ou plutôt vers le SSE., les extrémités de cet arc de cercle se trouvant environ par 43° lat. N. du côté de l'Europe et 41° 30' du côté de l'Amérique[1].

Notons, en terminant, que les Sargasses ne sont point exclusivement limitées aux eaux bleues : elles s'avancent certainement à plusieurs centaines de milles dans les eaux vertes. A l'aller, nous les avons rencontrées depuis lat. 40°, long. 37° 30' environ, jusqu'au voisinage du bord oriental du Banc de Terre-Neuve. Nous n'en voyons point de Saint-Jean à Halifax, ni de Halifax à Boston, à l'entrée des golfes Saint-Laurent et de Maine. Cependant elles ne sont pas loin, car au retour nous les trouvons déjà au sud des bancs Saint-Georges, par le 70e degré de longitude ; et nous continuons d'en voir, excepté sur la pointe du grand Bane, jusqu'au 48e degré lat. N. et au 39e degré long. environ, c'est-à-dire jusqu'au méridien même où nous les avions rencontrées en quittant les Açores.

L'absence de Sargasses à l'est de cette ligne, dans les eaux européennes de l'Atlantique, tout au moins au-dessus du 50e parallèle, est assez incapable dans l'hypothèse du transport des eaux superficielles du Gulf Stream jusqu'à nos côtes ?

Nous joignons à cette note une carte où sont indiquées les limites des eaux bleues et des Sargasses d'après notre journal : (Pl. 1).

Sur les gaz de la vessie natatoire des Poissons *

Par Jules Richard

« Nous possédons déjà des documents assez nombreux sur la nature des gaz de la vessie natatoire des Poissons. On sait qu'ils sont formés d'oxygène, d'azote et d'une quantité, le plus souvent très faible, d'acide carbonique. Mais les proportions d'oxygène et d'azote varient dans des limites très étendues puisque le premier de ces gaz peut faire presque complètement défaut ou former au contraire les $\frac{20}{100}$ du volume total.

« Quelles sont les causes de ces variations ? Pour Biot, la proportion d'oxygène augmente avec la profondeur ; pour Delaroche, elle dépend de la taille de l'animal ; pour Configliachi, elle est sous l'influence de la saison, etc. Moreau a montré, d'autre part, qu'on peut à volonté augmenter la proportion d'oxygène en retirant une partie du gaz de la vessie ; le nouveau gaz sécrété est presque uniquement de l'oxygène.

« On le voit, l'accord n'est pas fait sur le point de savoir quelles sont les causes qui font varier les proportions des deux gaz, dans les conditions naturelles

[1] Cette limite coïnciderait assez bien avec celle des eaux de densité 1,0270 (Voir Buchanan, *Report on the specific gravity etc...* dans les Rapports du *Challenger*). On en pourrait conclure que les eaux d'une densité supérieure à ce chiffre sont peu favorables à la vie végétale.

* C. R. Acad. Sciences, 1er avril 1895.

ordinaires. Le problème est du reste fort difficile et je désire seulement donner le résultat de quelques analyses faites, pendant l'été de 1894, à bord du yacht *PRINCESSE ALICE*, commandé par S. A. S. le Prince de Monaco. Elles ont porté sur les gaz de la vessie natatoire de trois espèces de Poissons pris à des profondeurs de 60m, 175m et 1674m et ont été effectuées au moyen de la potasse et de l'acide pyrogallique [1].

« Voici les résultats obtenus, après les corrections relatives à la pression et à la température :

« 1° *Serranus cabrilla* Linné, pris le 26 juillet 1894, à la ligne, par 60m de profondeur, sur le banc de Gorringe, 22cc,7 du gaz ont donné :

		Soit pour 100.
Az	4,4	19,3
O	18,3	80,7
CO^2	traces	traces

« 2° Congres (*Conger vulgaris* Linné), pris le 28 juillet 1894 dans une nasse, sur le banc de Gorringe, par 175m de profondeur (moyenne de deux analyses). 25cc,1 ont donné :

		Soit pour 100.
Az	3	11,9
O	22	87,7
CO^2	0,1	0,4

« 3° *Simenchelys parasiticus* Gill. 239 exemplaires ont été pris dans une nasse, le 21 août 1894, au large de la Corogne, par 43° 52' L. N., 11° 22' Lg. O., à 1674m de profondeur. 19cc,2 ont donné :

		Soit pour 100.
Az	3,9	21,4
O	14,3	78,6
CO^2	traces	traces

« L'oxygène et l'azote se trouvent ainsi en proportions inverses de celles que ces gaz présentent dans l'air atmosphérique.

« Chez les *Simenchelys* la vessie natatoire est très allongée. C'est ainsi qu'un individu de cette espèce, de 340mm de longueur totale, a une vessie de 265mm, commençant à 30mm de l'extrémité antérieure par une poche globuleuse. Celle-ci est suivie d'un rétrécissement après lequel viennent les corps rouges, qui s'étendent sur une longueur d'environ 20mm. Puis la vessie se continue en diminuant très lentement de diamètre et se termine peu à peu en pointe. Elle a de 5mm à 6mm de diamètre dans sa partie moyenne.

« Dans les trois cas qui précèdent, l'oxygène se montre en proportion considérable ; à tel point que nous avons pu répéter avec le gaz de la vessie natatoire des Congres et des Serrans l'expérience classique, qui consiste à enflammer, en la plongeant dans l'oxygène, une allumette présentant encore un point en ignition. La flamme réapparaissait aussitôt, accompagnée d'une petite explosion. La faible quantité de gaz extraite de la vessie des *Simenchelys* n'a pas permis de répéter l'expérience.

« Biot avait déjà analysé le gaz de la vessie de poissons ramenés de grandes profondeurs et il avait trouvé jusqu'à 87 pour 100 d'oxygène. Mais ces profondeurs,

[1] M. le professeur J.-Y. Buchanan a bien voulu recueillir une partie des gaz analysés, et M. de Guerne m'a aidé à extraire le gaz de la vessie des *Simenchelys*.

qui n'atteignaient sans doute pas 1000^{m}, n'ont été évaluées que par les pêcheurs qui ramenaient les poissons au bout de leur ligne. Il s'agit au contraire ici de poissons (*Simenchelys*) qui habitent essentiellement le fond de la mer et qui ont été pris exactement à 1674^{m}. Cette précision dans l'évaluation de la profondeur donne un intérêt particulier à l'analyse du gaz de la vessie de ces poissons. Or nous constatons que les Serrans pris à 60^{m} offrent au moins autant d'oxygène que les *Simenchelys* qui viennent de 1674^{m}. Il n'y a donc pas là une simple question de profondeur : le volume des animaux n'est sans doute pas sans influence, non plus que la nature chimique du milieu. Les conditions biologiques diverses ont certainement aussi quelque importance. Pour élucider le problème, il faudrait analyser séparément le gaz de la vessie de différents individus de même espèce, pris à une même profondeur et à des profondeurs différentes ; opérer de même pour des espèces diverses, etc. Nous nous proposons de saisir toutes les occasions qui pourront se présenter à l'avenir de façon à réunir le plus grand nombre possible de documents nécessaires à l'étude de la question ».

Sur les gaz de la vessie natatoire des Poissons et des Physalies *

Par Jules Richard

Pendant les deux dernières campagnes du yacht *Princesse Alice*, commandé par S. A. le Prince de Monaco, j'ai eu l'occasion de faire quelques analyses des gaz contenus dans le pneumatophore des Physalies (*Physalia pelagica* Lk.). Le tableau suivant en donne les résultats (1 — 4) en même temps que ceux des deux analyses (A — B) publiées en 1854 par de Quatrefages, qui me paraît avoir été le premier et le seul qui ait étudié la composition de ces gaz.

GAZ.	A.	B.	1.	2.	3.	4.
Az	82,3	82,7	85,7	86,7	88,3	91,1
O	17,7	17,3	14,3	13,3	11,7	8,9

De Quatrefages pensait que l'absence de CO^2 était peut-être due à la dissolution dans l'eau sur laquelle le gaz avait été recueilli. J'ai extrait les gaz au moyen d'un petit aspirateur à mercure, à l'abri du contact de l'eau, et je n'ai pas observé de CO^2 en quantité appréciable.

* Bull. Mus. Hist. Nat. Paris, n° 1, 1896.

L'O se montre toujours en proportions plus faibles que dans l'air libre et surtout que dans l'air dissous dans l'eau. De Quatrefages croyait que les Physalies aspiraient l'air atmosphérique et le rejetaient après en avoir partiellement absorbé l'O. Il voyait dans cet acte une véritable respiration. Divers auteurs (Hæckel, Chun, etc.) ont constaté, au contraire, que la Physalie sécrète son gaz pour s'élever à la surface et que le pore du pneumatophore ne sert qu'à l'expulser. Il paraît assez naturel, dans ces conditions, que la Physalie gonfle son pneumatophore, surtout avec de l'azote, l'O étant retenu en majeure partie pour la respiration. Il est possible du reste que l'O soit résorbé peu à peu et remplacé par de l'Az, ce qui expliquerait les analyses 3 et 4. Il serait intéressant, à cet égard, de rechercher (ce que je me propose de faire à l'occasion) si l'O n'est pas plus abondant chez une Physalie qui vient d'arriver à la surface ou à laquelle on a soustrait une portion notable de son gaz.

En ce qui concerne les Poissons de profondeur, les analyses faites pendant la campagne de 1895 confirment les résultats que j'ai publiés l'année dernière. Le tableau ci-dessous[1] les résume :

GAZ.	$\frac{S^1}{900^m}$	$\frac{S^2}{1{,}385^m}$	$\frac{S^3}{1{,}385^m}$	$\frac{S^4}{1{,}385^m}$	$\frac{M^1}{88^m}$	$\frac{M^2}{88^m}$	$\frac{P_1}{}$	$\frac{P_2}{}$
Az	21,8	19,7	23,5	11,8	22,1	20,5	80	78
O	75,1	80,3	76,5	84,6	77,7	73,1	17,6	20
CO^2	3,1	0,0	0,0	3,6	3,2	6,4	2,4	2

Les Murènes prises à 88 mètres de profondeur présentent donc autant d'O que les *Synaphobranchus* capturés à 1385 mètres. Les deux Polyprions qui ont été pris à la foëne par le Prince autour d'une épave présentent au contraire une faible quantité d'O. Il semble donc acquis que les Physalies, aussi bien que les Poissons littoraux ou vivant à la surface, présentent moins d'O que l'air dissous dans l'eau, tandis que la quantité d'O devient très considérable chez les Poissons venant d'une certaine profondeur, sans que cette quantité soit proportionnelle à la profondeur.

La quantité plus grande d'O dissous dans la profondeur, par le fait de l'abaissement de température, ne permet pas d'expliquer des différences aussi considérables que celles qu'on observe dans la proportion d'O chez les Poissons de surface et chez ceux de profondeur. Il n'y a pas, d'ailleurs, de raison apparente pour que le mécanisme de sécrétion des gaz diffère dans les deux catégories.

[1] S = *Synaphobranchus pinnatus* Gr. .... 900m et 1385m de profondeur.
M = *Muræna helena*..... 88m
P = *Polyprion cernium* Val. ..... Surface.

Il y a donc autre chose. Il faut remarquer, en effet, que les Poissons qu'on ramène rapidement de profondeurs plus ou moins considérables ne sont plus dans des conditions physiologiques normales. La décompression peut amener des troubles dans les fonctions nerveuses et circulatoires, peut-être une dissociation active de l'O de l'hémoglobine au niveau des corps rouges, etc. Il est donc possible que les proportions des gaz de la vessie natatoire chez les Poissons de profondeur, dans leur habitat normal, diffèrent notablement de celles qu'ils nous présentent quand ils nous arrivent à la surface. Il y a là une question intéressante, mais évidemment difficile à élucider.

Observations de température des eaux marines arctiques faites pendant les campagnes du yacht PRINCESSE ALICE (1906-1907) *

Par Jules RICHARD

CAMPAGNE DE 1906 [1]

Dans le courant de cette campagne je me suis particulièrement attaché à exécuter des séries verticales de températures et de prises d'eau. Les échantillons d'eau recueillis ont été étudiés dans le n° 88 de ce Bulletin par M. Allemandet, qui a notamment déterminé la salinité et aussi le point cryoscopique. Je ne rappellerai que la première de ces données.

J'ai noté en outre un assez grand nombre de températures de surface dont certaines présentent un intérêt spécial.

					Heure	TEMPÉRATURE Air	Eau
5 juillet.	Vestfjord, près l'île Rost (Lofoten)				2h p. m.	9°3	9°
11 —	74° 55' N.	16° 37' E. (Gr.)	brume		9 a. m.	3 8	2 5
	75 37	15 50 —	—		4 p. m.	3 8	2 5
12 —	77 31	11 20 —			9 a. m.	4 5	4 5
	78 28	10 30 —			4 p. m.	2 9	3 6
17 —	79 53	10 35 —		(Au nord du Spitsberg)	8 a. m.	4 2	3 5
	80 3	11 45 —					
	Tout près des glaces flottantes				3 30 p. m.	2 8	2 2

(M. le Dr Portier a obtenu 2°2 dans l'eau de la banquise même, entre les glaces).

19 juillet.	Mouillage à la côte sud de l'île Amsterdam	9h p. m.	4°2

(M. le Dr Portier a obtenu 3°5 à 15m de profondeur).

* Bull. Inst. Océan., n° 112, 10 mars 1908.

[1] Voir la carte à la fin du Fascicule.

			TEMPÉRATURE	
		Heure	Air	Eau
25 juillet.	Baie Wijde (eau trouble jaunâtre)	6h 45' p. m.	9°4	0°2
	— —	—	—	0 4
	— (eau bleue)	—	—	- 0 2

Cette tache d'eau bleue froide était très limitée et provenait peut-être d'un courant ascendant local dû à une inégalité du fond et agitant les couches superficielles voisines.

26 juillet. Baie Wijde, mouillage à la côte E. de l'Eastfjord, série verticale entre 4h 25 et 6h 24. (Stn. 2437). Air à 12°4.

Heure	Profondeur	Température	Heure	Profondeur	Température
4h25 p. m.	0m	4°2	5h31	6m	1°25
4 47	1	3 5	6 17	6 50	- 0 7
4 55	2	3 2	5 40	7	- 0 65
5 2	3	2 9	5 47	7	- 0 65
5 8	5	2 7	6 24	7	- 0 7
6 2	5	2 8	5 15	10	- 0 8
6 9	5 50	2 75	5 55	15	- 0 9
5 23	6	- 0 8			

L'eau trouble de la surface est de l'eau douce venant des rivières et qui s'échauffe jusqu'à 4°2 par le soleil en se maintenant à la surface par sa faible densité. Dans des conditions analogues le 13 juillet dans le havre Coal (baie King) j'ai trouvé que l'eau boueuse de la surface avait pour densité 1,00100 tandis qu'a quelques centimètres au-dessous, l'eau beaucoup plus claire était plus dense (1,01405). La température diminue graduellement jusque vers 5 ou 6m de profondeur puis passe au-dessous de 0° (eau polaire). On peut voir que suivant l'heure on a des températures différentes pour une même profondeur. Cela tient sans doute aux remous et aux mouvements causés par exemple par le déplacement du yacht à l'évitage suivant le vent, etc. Nous verrons le même fait plus accentué ailleurs.

Vers 6h 30 du soir on voit la couche boueuse superficielle changer rapidement de place et se montrer moins étendue, sans doute sous l'influence du vent.

28 juillet. Baie Wijde, mouillage de Lake Valley, dans la région nord de la côte W. (Stn. 2441). Air 4°.

Le mouillage est au nord d'une flèche qui limite une lagune et qui protège du sud.

Heure	Profondeur	Température	Heure	Profondeur	Température
10h20 a. m.	0m	3°5	12h57 p. m.	2m	3°2
10 25	1	2 85	10 38 a. m.	3	0 25
10 32	2	0 65	10 45	4	0 19

Heure	Profondeur	Température	Heure	Profondeur	Température
10h51	5m	0°17	11h39	11m	0°49
12 49 p. m.	5	0 6	11 47	12	0 38
10 58 a. m.	6	0 5	11 56	13	0 35
12 40 p. m.	6	0 3	12 3 p. m.	14	0 30
11 5 a. m.	7	0 5	12 30	15	- 0 30 (?)
11 13	8	0 5	12 23	17	0 75
11 23	9	0 6	12 9	21	1 fond
11 31	10	0 45	12 16	21	0 97

Cette série est très irrégulière à cause des remous et des courants suivant l'heure et la marée. Ainsi à 10h 30 à 2m l'eau est à + 0°65 tandis qu'elle atteint 3°2 à 12h 57. Le — 0°30 de 12h 30 est sans doute une erreur de lecture pour + 0°30? Dans la série normale la température de la surface est comme à la Stn. 1437 assez élevée à la surface mais sur une moins grande épaisseur et il y a, entre 2m et 6m, une couche beaucoup plus froide tandis que l'eau du fond est relativement chaude. On ne constate pas ici la présence d'une couche profonde à température au-dessous de 0°, ce qui est sans doute dû à ce que en ce point l'eau est beaucoup plus brassée que dans la Stn. 1437 beaucoup plus éloignée de l'entrée de cette baie profonde et où les eaux ont sans doute des mouvements bien moins accusés.

30 juillet. Mouillage de Hollandar Point, île Amsterdam. (Stn. 2447). Fond à 17m. Air 7°.

Heure	Profondeur	Température	Heure	Profondeur	Température
1h50 p. m.	0m	4°65	3 1	7	4 9
2 56	1	5 25	2	10	4 5
2 51	2	5 22	3 7	12	4 7
2 42	3	4 85	2 9	15	4 6
2 36	4	5 5	2 17	15	4 55
2 31	5	4 9	2 25	16	4 6

Le mouillage se trouve juste par le travers de North Gat ; il soufflait un vent d'W. assez fort.

On voit que toute la couche de l'eau est à environ 4°5 — 5°, dans ce point où les eaux du N., du S. et de l'W. se rencontrent et se brassent ; on n'est plus dans les conditions de l'Eastfjord dans le fond de la baie Wijde longue, fermée et abritée.

1er août.	79° 35' N.	10° 15' E.	(Au large des Seven Icebergs).	6h p. m.	surface 5°5
	79° 15' N.	10° 5' E.	(Au large des Seven Icebergs).	8h20 p. m.	surface 5°4

2 août. Mouillage, côte E. de la partie N. de Prince Charles Foreland. Fond à 15m. (Stn. 2454). Air, de 2°8 à 3°4.

Heure	Profondeur	Température	Salinité
10h20 a. m.	0m	6°	34.18
10 19	5	5 95	
10 8	14	5 95	

		Heure	Température Air	Température Eau
4 août.	Mouillage, côte E. de la partie N. de Prince Charles Foreland.	8h45 a. m.	4°8	6°
	78° 20' N. 9° 45' E.	1 5 p. m.		5 3
	A environ 3 milles de la côte W. de Prince Charles Foreland.			5 7
	En entrant dans l'Icefjord.	9 35	4 5	5 8
	Par le travers de la baie Coal. (Influence des grands glaciers de la côte N.).	11	4 7	5 5
5 août.	Entrée de la baie Advent.	minuit 5		6 2
	Mouillage de la baie Advent. (Eau jaune et très trouble). Salin. 4.20.	— 37		7 8
	Mouillage de la baie Advent. (Eau jaune et très trouble).	8 45 a. m.	5	7 5

5 août. Mouillage de la baie Advent. Eau jaune et très trouble. (Stn. 2471). Fond à 54m.

Heure	Profondeur	Température	Salinité
11h40 a. m.	0m	8°1	17.39
11 37	1	7 85	
11 31	2	6 4	
11 23	3	6	
11 15	4	5 82	31.06
11 9	5	5 75	
11 2	10	5 45	31.40
10 54	20	4	33.04
10 45	30	2 78	
10 37	40	2 56	
10 25	50	2 50	
11 57	50	2 58	34.25

		Heure	Température Eau
5 août.	Débarcadère de la baie Advent.	9h 50 p. m.	8°
	Au milieu, entre les rives N. et S. de la baie par le travers de la pointe de la baie Advent.		7 4
	Débarcadère de la mine de charbon, rive sud.		7 9
	En dehors de la pointe qui protège le mouillage, dans une eau verte.	10 50	6 3

D'une des terrasses qui dominent la baie on voit très bien la limite entre l'eau verte de l'Icefjord à 6°2 environ et l'eau jaunâtre, trouble, et peu salée de la baie Advent à 7°4-8°.

7 août. Mouillage de la baie Advent, à midi 30 l'eau est à 7°1, et à 11^{h} du soir à 6°95. Ce refroidissement est dû à l'absence de soleil, un brouillard bas durant depuis deux jours.

		Heure	TEMPÉRATURE Air	TEMPÉRATURE Eau
8 août.	Mouillage de la baie Advent. (Temps couvert).	7^{h}10 a. m.		5°9
9 —	— — — (Soleil toute la journée).	7 30 p. m.		7 3
10 —	— — — —	9 a. m.		7 7
10 —	— — — —	10 p. m.		8 5
10 —	— — — —	10 40	7°4	8°1 à 9°1
10 —	Près de la pointe de la baie Advent.	11 32		8 8

11 août. Dans l'Icefjord, en quittant la baie Advent, l'eau de surface est à 7°6.

Mouillage du Havre Green (Green Harbour), par 39^{m}. (Stn. 2480). Série verticale.

Heure	Profondeur	Température	Salinité
9^{h}45 a. m.	0^{m}	6°9	26.80
9 48	1	5 15	
10 7	1 50	4 15	
9 42	2	3 62	
10 13	2	4 55	32.48
10 20	2	4 40	
9 36	3	3 62	
10 26	3	3 45	
10 32	3	3 40	33.17
9 30	4	3 35	
9 24	5	3 30	
9 17	10	3 15	33.17
9 10	20	3 20	33.62
9 2	30	3 28	34.09
8 54	38	3 80 [1]	34.13
9 59	38	3 25	34.11

Les températures de 2^{m} et 3^{m} sont très différentes suivant l'heure : il y a pendant toute l'opération un courant assez fort qui sort de la baie.

11 août. Mouillage du Havre Safe (Safe Harbour). A 10^{h}50 soir l'eau est à 5°1 à la surface.

12 août. Havre Safe. Commencé une série verticale près de la partie N.-W. du fond de la baie, très près de la partie la plus haute du glacier en un point

[1] Le lest ayant touché le fond, je crains que le thermomètre ait basculé trop tôt. C'est pourquoi on recommence à 9^{h}59.

où le fond est à 30m. 1re colonne : Stn. 2481, mer haute. Les 3 dernières températures ont été prises dans le N.-N.-E. au-dessus d'un fond de 58m, plus loin du glacier que les 4 premières. 2e colonne : série faite au mouillage, à marée descendante sur fond de 21m.

Stn. 2481.

Heure	Profondeur	Température	Salinité
10h a. m.	0m	4°5	27.63
9 58	2	6 55	30.55
9 25	5	6 1	31.13
9 19	10	5 7	
9 12	20	4 2	32.81
9 5	29	3 7	33.44
9 50	57	3	34.16

Stn. 2484.

Heure	Profondeur	Température
9h 10 p. m.	0m	5°2
9 11	1	5 42
9 17	1 50	5 40
9 23	1 50	5 22
9 5	2	6 58
9 23	2	6 1
8 59	5	6 2
8 53	10	5 95
8 46	20	4 7

On voit qu'à la même profondeur, à des intervalles de temps très courts (pour 1m50 et 2m), la température varie notablement, sans doute à cause des remous. D'une façon générale toutes les températures prises près du glacier sont plus basses que celles du mouillage qui est plus éloigné, notamment la température à la surface.

A 11h30 a. m., l'air est à 7°, l'eau à 5°05, au mouillage.
7 20 p. m. — 4 8 — 5 —

							Heure	Température Air	Température Eau
13 août.	78° 48' N.	9° 20' E.	(Au large de Prince Charles Foreland).				8h30 a. m.	5°	5°7
—	—	—	—	—	—		9 p. m.	2	4 8
—	—	—	—	—	—		9 45	1 1	

14 août. Mouillage de Cross Road (baie Cross).
8h a. m. air 1°4 surface 3°4

Stn. 2488 (fond à 13m)

Heure	Profondeur	Température	Salinité
9h35 a. m.	0m	3°3	31.83
9 33	1	3 28	
9 27	2	2 8	
9 20	5	2	32.68
9 10	10	1 4	33.04
9 2	12	1 37	33.12

Série prise à bord au mouillage.

Stn. 2489 (fond inconnu)

Heure	Profondeur	Température	Salinité
5h45	0m	2°	
5 9	2	2 05	
4 51	5	1 45	35.30
4 44	10	1 58	33.28
4 37	20	2 3	33.80
4 29	30	2 1	33.89
4 20	40	2 75	34.09
4 12	50	3 12	34.31
4 2	60	2 4	34.33
5	60	2 42	

Série prise dans le youyou au large du yacht.

Vers 6h45 p. m. à 12m de profondeur au mouillage 1°6.
8 30 — — 1 5.
11 air 3°4 surface 1°8.

Temps couvert toute la journée.

15 août. Mouillage de Cross Road.
10h a. m. air 3°4 surface 3°1
9 45 p. m. 3 4 2 2

16 août. Mouillage de Cross Road.
10h15 a. m. air 4°2 surface 2°3

Dans la baie Cross à 290m, eau 0°7.
7h35 p. m. air 4°2 surface 3°55 à l'entrée de la baie Cross.
10 50 3 au mouillage de Cross Road.

Pendant les sondages faits par le yacht dans la baie, la plupart à plus de 250^{m} ou 300^{m}, la température de la surface oscille entre 3°4 et 3°62, en moyenne 3°5.

17 août. Mouillage de Cross Road, près des glaçons qui entourent le yacht.

9^{h}30 a. m.	air 2°9	surface 2° 2
2 30 p. m.	3 3	3 15

La température de la surface oscille entre 3°55 et 4°5. Les plus hautes températures se trouvent du côté E. opposé aux glaçons flottants et recevant plus directement l'eau du large, le prolongement sous-marin du cap Mitre empêchant la côte ouest d'être directement influencée par cette eau.

Des mesures du courant de marée le long du yacht, au mouillage de Cross Road, donnent le 17 août vers 9^{h}-10^{h} du matin et 2^{h} du soir une moyenne de 600^{m} à l'heure.

18 août. Mouillage de Cross Road.

9^{h} a. m. air 3°4 surface 4°1

19 août. Baie Cross. Moyenne de l'air 6°4 pendant les sondages faits en différents points de la baie. La température de l'eau de surface varie de 3°8 à 4°15 dans les mêmes conditions que le 17 août.

20 août. Baie Cross. 2^{h}10 p. m. air 0°8 profondeur 334^{m}.
79° 3' N. 10° 45' E. (Au large du cap Mitre). 11 4 3

21 août. Au large du Prince Charles Foreland.

			TEMPÉRATURE	
		Heure	Air	Eau
78° 40' N.	6° 50' E.		5°4	5° 6
78 44	6 56	11^{h}25 a. m.		5 75
78 45	7 23	midi		5 83
78 48 30"	8 30	1^{h}30 p. m.	3 6	5 5
78 53 30	10 10	4 30	4 6	
79 3	10 30	6		4 5
Près de la pointe N. de Prince Charles Foreland.		9 30		4 2

Les températures de l'eau de surface diminuent à mesure qu'on se rapproche de terre, déjà hier soir en sortant on avait 4°3 au large du cap Mitre.

22 août. Près la pointe N. du Prince Charles Foreland.

9^{h}10 a. m. air 1°2 surface 4°1

24 août. Mouillage de la baie Muller, située au fond de la baie Cross.

9^{h}45 a. m. air 2°4 surface 4°3

Stn. 2515 (fond à 23[m])

Heure	Profondeur	Température
12[h]	0[m]	4°3
12 25	1	4 3
10 55	3	3 95
10 48	5	3 82
10 7	10	3 18
9 58	22	3 05

Le soir après 8 heures on voit contre le navire, vers le nord, une eau superficielle très trouble, boueuse sur 3 à 5[cm] d'épaisseur et couverte par places de plaques de glace, épaisses d'environ 1 à 2[mm], tandis que de l'autre côté du navire l'eau est aussi claire que dans le reste de la baie et donne + 1°9 à la surface. Étant allé dans une embarcation, je constate que, en appuyant sur la glace mince de façon que le réservoir du thermomètre ne soit recouvert que par 2 ou 3[mm] d'eau, la température indiquée est — 0°1, tandis qu'à 14[cm] de profondeur le thermomètre donne 3°3. Ce fait concorde bien avec l'observation de M. K. Schuh de Gmünden. Ce savant a en effet constaté que, au moment de la congélation des lacs, la couche superficielle ayant 0° est extrêmement mince et n'a que 7 à 8[mm] ; immédiatement au-dessous, l'eau varie de + 1°6 à + 2° [1]. Il faut employer un thermomètre à réservoir très mince. Celui dont je me suis servi remplit ces conditions et est divisé en dixièmes. L'eau trouble est une couche d'eau douce venant du glacier du fond de la baie et surnageant sur l'eau plus salée. Son rayonnement amène un refroidissement marqué dans la couche tout à fait superficielle. Une petite brise se levant il n'y a bientôt plus ni eau boueuse ni glace au mouillage.

Je crois bon de mentionner ici quelques observations de température bien qu'elles aient été faites hors de la mer. Le soir vers 11 heures le thermomètre placé sur une grosse pierre, le réservoir étant à 1[cm] au-dessus d'un gros lichen noir et ainsi suspendu dans l'air, donne + 0°6.

Dans une petite flaque d'eau douce le thermomètre donne, à la surface : 3°6 ; et au fond (8 à 10[cm]) : 4°4.

Dans une autre, à la surface 2°9 ; et au fond (8 à 10[cm]) : 4°7.

La température superficielle plus basse est évidemment due au rayonnement.

Le sol est imbibé comme une éponge.

25 août. Comme hier soir on voit à 8 heures, par un ciel splendide, à la surface de l'eau jaunâtre très trouble, de la petite glace d'eau douce de 3[mm] d'épaisseur que le canot fait craquer en nous portant à terre.

[1] Ch. Rabot. *Revue de limnologie, La Géog.* (15 août 1901, p. 110).

A 9^h45 du matin, à 13^{cm} de profondeur la température du sol, à terre, est 3°4.

A 11 heures du matin, au bord de la mer à marée basse, à l'ombre d'une pierre, on trouve 3°9 dans 2^{cm} de profondeur d'eau trouble au fond de la baie Müller.

A marée descendante un fort courant trouble de la rivière venant du glacier donne 4°7 avant midi.

A terre, dans une flaque d'eau douce profonde de 5^{cm}, le réservoir étant à 2^{cm} de profondeur, on a à l'ombre 5°2, au soleil 5°5 ; et 5°42 en plein courant au soleil dans un filet d'eau voisin ; un autre ruisselet plus gros donne 3°7.

27 août. Dans la baie Cross.

1^h30 p. m. air 2°2 surface 3°9

29 août. Entre la baie Cross et la pointe N. du Prince Charles Foreland la température de la surface est successivement : 3°5, 3°55, 3°65, 3°72, à mesure qu'on va vers le large.

31 août. Havre Green (Green Harbour). Série verticale par 33^m de profondeur (Stn. 2527).

Heure	Profondeur	Température
8^h55	0^m	3°60
8 52	2	3 68
8 46	5	3 68
8 39	10	3 62
8 32	20	3 25
8 23	32	2 25

Il est intéressant de comparer cette série avec celle de la Stn. 2480 faite au même endroit ; la différence porte surtout sur la température de la surface et sur celle du fond.

			Heure	Température Air	Température Eau
2 septembre.	Havre Green.		9^h15 a. m.	2°2	3°3
	Au milieu entre les Havres Green et Safe.		10 40		3 8
	En quittant le Spitsberg.				
	77° 53' N.	13° 27' E.	2 10 p. m.		2 4
	77 38	13 5	3 50	2 9	1 9
	77 23 30"	13 18	5 30		1 7
	77 12	13 30	6 45		1 4
	76 59	13 45	8 15		1 5
	76 40	14 5	10 25		1 1

La température de la surface baisse donc à mesure qu'on va vers le sud en s'écartant du Spitsberg, de 3°8 (entrée de l'Isfjord) à 1°1, à peu près par le travers du Horn Sound. C'est l'influence de l'eau froide venant du S.-E.

				TEMPÉRATURE	
			Heure	Air	Eau
3 septembre.	75° 14' N.	15° 51' E.	8h 55 a. m.	4°6	4° 4
	74 48	16 20	midi		3 3
	74 33	16 32	1 40 p. m.		1 95
	74 16	16 48	3 20		1 9
	73 54	17 12	5 55		2 8
	73 43	17 22	7		4 4
4 septembre.	71 38	19 15	9 a. m.		7 3
	71 12	19 38	midi		7 6
	70 42	20 3	4 50 p. m.	5 4	7 9

La série des températures de la surface hier et ce matin est intéressante. Entre midi et 5 heures du soir, hier, nous avons évidemment traversé le courant froid venant de l'est. Aujourd'hui nous sommes en pleine eau atlantique.

				TEMPÉRATURE	
			Heure	Air	Eau
5 septembre.	69° 57' N.	20° E.	9h a. m.		6°1
	69 47	19 21'	midi	6°9	7
7 septembre.	Gibostad.		9 a. m.	8	8 9
8 septembre.	Fjords.		9	8 8	10 3
	Fjords.		10 50		10 1
	Fjords.		5 45 p. m.		9 6
9 septembre.	65° 41' N.	12° 20' E.	2	10 4	10 6
10 septembre.	64 23	10 6	8 50 a. m.		11 6
	Fjord de Trondhjem.		3 30 p. m.		10 7
12 septembre.	63° 0' N.	6° 52' E.	9 a. m.		11 4
	62 39	6 27	midi		12 35
	62 26	5 53	2 20 p. m.		12 50
	Mouillage de Storhl (Kvamsö).		5 50		12 55
13 septembre.	61° 10' N.	5° 5' E.	11 10 a. m.		12 7
	Kraakhelle Sund.		7 45 p. m.		12 5
14 septembre.	60° 5' 30" N.	5° 20' E.	10 a. m.		13 4
	59 38	5 19	2 p. m.		13
	Hoievarde.		5		13 2
	—		8 30 a. m.		13
16 septembre.	58° 36' 45" N.	5° 15'	6 15 p. m.		14
17 septembre.	56 38	4 48	9 a. m.		14 5
	55 59	4 55	midi		14 9
	55 29	4 54	3 p. m.		15
18 septembre.	53 53	4 25	8 a. m.		16 55
	52 50	3 2	3 55 p. m.		16 7
	52 30	2 35	6 30		16 5
19 septembre.	49 45	0 7	9 a. m.		16 9

CAMPAGNE DE 1907

L'état des glaces se présentant dans des conditions très particulières dans les parages du Spitsberg pendant l'été 1907 je me suis spécialement occupé de faire le plus d'observations possible sur la température de la surface de la mer, notamment par le travers de Beeren Eiland.

Ces températures ainsi que celles observées en 1906 sont inscrites sur la carte annexée à ce mémoire et dont l'examen fournit un certain nombre de résultats intéressants.

Voici d'abord les indications précises des localités où les températures ont été observées.

DATE 1907	HEURE	TEMP. eau surf.	LATIT. N.	LONG. E. (GR.)	OBSERVATIONS
5 juillet.	1h45 p. m.	10°35	65° 35'	12° 5'	
6 juillet.	11 30 a. m.	8 40	67 22	14 30	
	4 30 p. m.	10 45	68 05	15 05	
9 juillet.	4	7 51	69 40	19 04	Tromsö
	8 30	8 9	69 53	19 56	
	10 45	9 1	70 09	20 01	Store Skaarö
10 juillet.	8 30	8 9	70 09	20 01	—
	10 30	7 7	70 19	20 32	
11 juillet.	8 30 a. m.	7 75	72 17	20 18	
	9 40	7 70	72 28	20 17	
	11 30	7 25	72 44	20 09	
	1 45 p. m.	6 65	73 04	20 07	
	2 30	6 70	73 11	20 07	
	4 15	6 1	73 18	20 06	
	6 15	6 15	73 33	19 20	
	8 15	5 20	73 48	18 30	
	10	3 4	74 02	18 20	
	10 45	2 6	74 07	18 15	Beeren Eiland à tribord devant
	11 5	2 6	74 09	18 10	
	11 20	2 35	74 11	18 08	Glace signalée à l'avant
	minuit	2 2	74 15	18 06	
12 juillet.	1h matin	1 8	74 20	18 04	
	2	1 75	74 25	18 01	Beeren Eiland presque par le travers
	3	1 40	74 29	17 56	Beeren Eiland par le travers
	4	1 25	74 33	17 51	
	5	0 8	74 37	17 47	
	7 a. m.	3 4	74 43	17 42	Glaces en vue devant
	7 30	2 5	74 46	17 39	Près de la glace
	8 30	0 9	74 51	17 32	A la lisière de la glace
	9	2 75	74 51	17 13	A la lisière de la glace (entre glaçons)
	10 8	2 50	74 38	16 35	
	11	3 60	74 42	16 23	
	midi	3 55	74 48	16 00	
	2 p. m.	5 8	75 00	15 40	
	3	5 8	75 05	15 32	Glaces devant et de côté (tribord)

DATE 1907	HEURE	TEMP. eau surf.	LATIT. N.	LONG. E. (GR.)	OBSERVATIONS
12 juillet.	4h	3°8	75° 08'	15° 24'	
	5	4 2	75 08	15 24	En quittant l'Erik Jarl
	7 20	5	75 25	13 53	
	9	5 8	75 19	14 04	Retour vers Tromsö
	10	5 85	75 12	14 18	—
	11	6	75 04	14 32	—
13 juillet.	1 matin	5 95	74 49	15 03	—
	2	6 20	74 40	15 17	—
	3	6 05	74 30	15 35	—
	4	6 40	74 22	15 50	—
	5	5 8	74 14	16 05	—
	6	6 6	74 03	16 25	—
	7 p. m.	5 6	73 50	16 32	—
	8	4 2	73 40	17 00	—
	15	6 45	73 32	17 09	—
	10	6 8	73 26	17 19	—
	11 15	4 65	73 17	17 35	—
	midi	6 95	73 11	17 48	—
	2h p. m.	7 30	72 57	18 08	—
	3	7 50	72 49	18 20	—
	4	7 40	72 40	18 37	—
	5	7 30	72 33	18 48	—
	6	7 20	72 25	19 00	—
	7	7 55	72 17	19 15	—
	10	7 65	71 50	19 50	—
18 juillet.	4 30	6 80	69 40	19 04	Mouillage de Tromsö
20 juillet.	9 a. m.	7 9	70 10	20 20	Près de Fuglö (en partant)
	midi	8 15	70 32	19 50	
	2h p. m.	8 40	70 50	19 40	
	4	8 15	71 10	19 30	
	6	8 30	71 27	19 20	
	8 15	7 80	71 45	19 09	
	10	7 55	72 00	19 00	
	11	7 55	72 08	18 56	
21 juillet.	4 a. m.	7	72 50	18 30	
	7	6 55	73 16	18 13	
	9	7	73 34	18 05	
	10	6 35	73 43	18 03	
	11	5 95	73 51	17 50	
	12	5	73 59	17 45	
	1 p. m.	3 4	74 08	17 33	
	1 30	3 85	74 14	17 30	
	2	4 80	74 17	17 25	
	3	7 05	74 26	17 12	
	4	6 70	74 33	17 02	
	4 25	6 60	74 37	16 58	Zone de taches de gum of ice (avec écume)
	4 40	6 7	74 41	16 52	
	4 45	6	74 40	16 51	
	4 55	5 70	74 41	16 50	
	5 20	5 85	74 44	16 49	
	5 50	5 45	74 49	16 45	

DATE 1907	HEURE	TEMP. eau surf.	LATIT. N.	LONG. E. (GR.)	OBSERVATIONS
21 juillet.	7h	4°60	74° 58'	16° 32'	
	8 20	4 40	75 07	16 20	7 bateaux phoquiers en vue
	9	4 25	75 15	16 10	
	9 40	3 20	75 21	16 00	Glaces en vue dans l'est
	10	- 0 1	75 24	15 56	
	10 30	- 0 95	75 27	15 45	Au milieu de nombreux très petits glaçons
	11	- 0 70	75 33	15 24	(sur la lisière des glaces)
	12	+ 1 1	75 34	15 08	
22 juillet.	8 a. m.	5 5	76 25	13 00	Longé la glace toute la matinée
	9	4 9	76 33	12 53	—
	10	4 65	76 41	12 45	—
	11	1 55	76 45' 30"	12 30	
	12	4 75	76 40	12 17	
	2 p. m.	4 9	76 24	12 31	Très près de la glace
	3	2 25	76 26	11 52	Assez loin de la glace
	6 30	+ 0 30	76 41	10 40	
	7 15	- 0 15	76 48	10 40	
	8 10	0 0	76 53	10 20	
	9 15	5 5	76 58	9 52	Brume épaisse et mer
23 juillet.	10 30 a. m.	3 1	78 36	8 10	Brume
	11 30	2 3	78 41	8 43	—
	midi	2 8	78 43	9 00	—
	2h p. m.	1 9	78 49 30	9 25	—
	3 15	1 8	78 52	9 35	—
	3 30	1 8	78 53	9 40	—
	5	1 6	78 56	9 50	—
	6	1 7	78 57	9 57	
	7	2 25	78 59 30	10 06	
	7 30	2 40	79 02	10 15	
	9	1 20	79 00	10 47	
	10 15	1 6	78 56	10 50	Mouillage près Prince Charles Foreland
24 juillet.	midi	3 65	78 58	11 47	Mouillage près Coal Haven (Quade Hook)
25 juillet.	9 a. m.	5 60	79 08 30	11 40	Mouillage Cross Road (Baie Cross)
26 juillet.	a. m.	4 3	79 15	11 50	Baie Lilljehook (à 300m du glacier)
28 juillet.	p. m.	4 2	79 15	11 50	—
	—	3 2	79 15	11 50	—
	—	4 2	79 15	11 50	Baie Lilljehook (à 200m du glacier)
	—	4 2	79 15	11 50	—
	—	3 55	79 15	11 50	Baie Lilljehook (dans eau saumâtre)
4 août.		2 2	79 13	12 05	En face du 3e glacier (près la baie Muller)
		2 3	79 15	12 05	Devant le glacier Tinayre
	1 30 p. m.	- 0 15	79 15	11 50	Devant le glacier de la baie Lilljehook (à environ 200m)
5 août.	9 15 a. m.	2 8	79 03	11 40	Entre Mock Hook et Quade Hook (Baie Cross)
	9 30	2 8	79 02 30	11 30	En sortant de la baie Cross
	midi	2 15	78 59 30	9 50	Au large à l'W. de la partie N. de P. Charles Foreland
	1h 15 p. m.	1 35	78 45	10 05	
	3	2	78 24	10 25	
	5 30	2 4	78 07 30	12 00	
	7 30	3 55	78 07	13 35	Près de l'entrée de l'Icefjord
	8 10	4 6	78 07	13 54	A l'entrée de l'Icefjord

DATE 1907	HEURE	TEMP. eau surf.	LATIT. N.	LONG. E. (GR.)	OBSERVATIONS
5 août.	9h 20	4°6	78° 03' 30"	14° 15	Au mouillage de Green Harbour
7 août.	10 45 a. m.	3 95	78 03 30	14 15	—
	6 25 p. m.	3 65	78 03 30	14 15	—
9 août.	11 10	5 50	78 10 30	14 37	Entre Green Harbour et Advent Bay
	1	4 75	78 14	15 35	Mouillage d'Advent Bay
14 août.	8 a. m.	4 65	78 14	15 35	—
	8 15	4 50	78 14	15 35	Mouillage d'Advent Bay (un peu sous la surface)
	8 30	4 95	78 14	15 35	Mouillage d'Advent Bay (dans l'eau agitée par le navire en partant)
	8 40	4 4	78 17	15 22	En tournant la pointe d'Advent Bay
	9 15	4 5	78 16	15 13	Entre Advent Bay et Coal Bay
	10	4 4	78 15 30	14 46	Par le travers de Coal Bay
	10 45	4 4	78 14	14 25	En approchant de Safe Harbour
	11 45	4 55	78 12 30	13 59	Entrée de Safe Harbour
16 août.	3 15 p. m.	4 60	78 12	13 55	En sortant de Safe Harbour
	6 30	2 15	78 04	12 43	Quelques glaçons épars
	7	2	78 01	12 43	
	8 25	0 8	77 52	12 43	
	9	1 1	77 49	12 43	
	9 30	1 65	77 48	12 17 30"	Près d'une longue bande de glace
	10 10	1 50	77 49	11 53	
	10 45	3	77 50	11 32	
	11 30	3 5	77 48	10 50	Brume
17 août.	1 a. m.	3 4	77 38	10 38	
	2	3 5	77 28	10 50	
	3	4 3	77 18	11 02	
	4	2 6	77 08 30	11 18	Petits glaçons épars
	6	2 6	76 48	11 35	—
	9 30	5 4	76 21	11 27	
	10 30 a. m.	4 4	77 16	11 20	
	11 30	5 4	76 08 30	11 18	
	midi 30	5 4	76 02	11 26	
	4h p. m.	5 4	75 45 30	11 48	
	6	5 5	75 38	11 56	
	8	5 55	75 32	12 21	
18 août.	7 a. m.	7 6	74 28	14 38	
	8	7	74 20	14 54	
	9	7 8	74 11	15 12	
	10	7 6	74 02	15 27	
	11	7 85	74 00	15 30	
	midi	5 9	73 49	15 50	
	1h p. m.	7 6	73 40	16 03	
	2	7 1	73 31	16 20	
	4	7 85	73 15	16 53	

D'après les renseignements obtenus de divers côtés par S. A. S. le Prince[1] et par le capitaine Isachsen[2], pendant cet été les glaces ont été plus abondantes

[1] Ces indications sont portées sur la carte qui accompagne la liste des Stations de la Campagne de 1907 de la *Princesse Alice* (Bulletin de l'Institut Océanographique n° 106). Elles sont d'ailleurs reportées sur la carte qui accompagne le présent mémoire.

[2] G. Isachsen. *Les glaces autour du Spitsberg en 1907* (ibid. n° 113).

qu'on ne l'avait jamais constaté auparavant, sur la côte W. du Spitsberg et vers Beeren Eiland, comme le montre le cartouche spécial de la carte. Ces glaces ont été amenées de l'est par les vents qui ont dominé du N. et de l'E. dans les régions d'où elles sont venues.

Le fait le plus remarquable et qui frappe de suite en examinant sur la carte les températures de surface observées en 1906 et 1907, dans les parages de Beeren Eiland, est sans contredit celui-ci : alors qu'en 1906 la mer était, là, complètement libre de glaces, la température superficielle était beaucoup plus basse (1°8, 1°95), en septembre où l'eau est ordinairement plus chaude, à une grande distance de l'île, qu'en 1907 à une distance plus rapprochée de celle-ci, le 20 juillet (4°80 à 6°70). En un mot, en 1907 alors que les glaces abondent, il faut se rapprocher beaucoup plus près de l'île pour trouver une température aussi basse qu'en 1906 où les glaces manquaient. Ce fait en apparence paradoxal, est évidemment dû à ce que ces glaces amenées par le vent constituent, en quelque sorte, un détail dans le phénomène beaucoup plus important du mouvement d'ensemble des eaux polaires, dont une langue plus ou moins avancée vient envahir Beeren Eiland. Cette langue était moins avancée en 1907, malgré la glace anormale, qu'en 1906 où la glace faisait complètement défaut.

Ces langues d'eau polaire présentent d'ailleurs des indentations déjà indiquées par d'autres observateurs et qui sont signalées par les alternatives de températures si différentes à de faibles intervalles, comme on peut l'observer dans le cartouche pour les températures du 12 juillet 1907 : 0°8 entre 1°25 et 3°4 et, plus haut, 0°9 entre 2°5 et 2°75. Ces températures basses ne doivent pas être attribuées à la présence des glaces puisqu'elles sont observées à des distances de celles-ci égales ou plus grandes que celles constatées plus près de ces mêmes glaces, comme on peut en voir de nombreux exemples sur le cartouche de la carte. C'est notamment le cas pour la langue froide (— 0°70 à — 0°95) du 20 juillet 1907, alors que plus à l'est, en 1906, on observait 2°5 le 11 du même mois. Cette langue froide paraît donc avoir suivi une marche inverse de celle qui baigne Beeren Eiland. Il n'y a d'ailleurs pas à s'étonner de ces oscillations alternantes des diverses langues d'eau froide.

Dans certains cas les choses paraissent être moins nettes et se prêter à diverses interprétations. Ainsi nous avons une ligne oblique de températures basses en 1907, par le travers du Prince Charles Foreland, alors que la température était bien plus élevée dans ces parages en 1006. Faut-il attribuer cet abaissement à une pénétration plus grande des eaux froides du N.-W. en 1907 ou à un séjour suffisamment prolongé des glaces dans ces parages, cette même année ? Y a-t-il un balancement tel que, lorsque l'eau atlantique s'avance vers le N.-W. (1906) elle se retire à l'ouest de Beeren Eiland, et inversement se retire-t-elle vers le S.-E. quand elle refoule vers l'est la langue froide de cette île ?

Il semble bien, dans d'autres cas, que l'abaissement marqué de la température soit dû à un séjour plus ou moins prolongé de la glace en un point donné.

C'est sans doute le cas pour la tache froide (0°, — 0,15 + 0,30) constatée près du bord W. de la glace rencontrée le 21 juillet 1907 alors que toutes les températures environnantes sont bien supérieures.

Il est facile de voir d'autre part sur la carte[1] une foule d'exemples montrant qu'on peut observer des températures élevées dans le voisinage immédiat de la glace.

Je me bornerai à ces quelques réflexions, laissant à chacun le soin de se former une opinion. L'essentiel est d'avoir les éléments nécessaires, c'est-à-dire la carte ci-jointe qui, je pense, intéressera les océanographes en général et ceux du nord en particulier.

Analyses des échantillons d'eau de mer recueillis pendant la Campagne du yacht PRINCESSE ALICE *en 1903* *

Par L. G. SABROU

Ces analyses ont été exécutées d'après les méthodes qui sont exposées dans le Fascicule XXII des Résultats des Campagnes scientifiques, par M. J. Thoulet.

L'ammoniaque libre, pas plus que l'ammoniaque albuminoïde n'ont été dosées. En effet la quantité de ces deux substances trouvée au laboratoire n'a aucun rapport direct avec la quantité qui se trouvait dans l'eau de mer.

Il peut parfaitement se produire des processus microbiens qui augmentent la quantité d'ammoniaque libre en diminuant d'autant la quantité d'ammoniaque albuminoïde.

D'autre part, les méthodes employées jusqu'ici pour la détermination des matières organiques de l'eau de mer ont été l'objet de trop de controverses pour qu'on puisse leur accorder une confiance absolue. Ce sont ces deux raisons, variation de l'ammoniaque après le puisage et incertitude du dosage des matières organiques qui nous ont fait rejeter ces deux déterminations.

En revanche on a dosé pour tous les échantillons la quantité de sulfate et les résultats ont été exprimés en SO^3 pour 1 000 gr.

D'une façon générale, cette teneur est sujette à peu de variations et ces variations ne permettent encore pas de distinguer la loi qui les relie, soit avec la profondeur, soit avec la salinité.

[1] Pour la carte en couleurs on est prié de se reporter à celle qui accompagne le travail original.

* Bull. Mus. Océan. Monaco, nº 18, 5 octobre 1904. Les résultats numériques des analyses étant donnés dans le Fasc. XXIX, p. 84-89 (Stn. 1449-1591) ne sont pas reproduits ici.

Deux séries verticales présentaient à partir d'une certaine profondeur une singularité remarquable. L'eau puisée était opaline et d'une couleur franchement bleutée. C'est ce qu'on a noté sur les tableaux par le mot « opaline » dans la colonne observations.

Une analyse attentive de ces eaux a montré que ce louche provenait d'une petite quantité d'argile en suspension. On a pu qualitativement, mais d'une façon très nette, y déceler l'albumine et la silice. Malheureusement les quantités d'eau dont on pouvait disposer pour l'analyse étaient trop faibles pour qu'on puisse exécuter une détermination quantitative avec quelque chance de précision. Mais la seule présence de cette argile à des profondeurs aussi considérables et d'autre part à une distance aussi grande du fond est déjà un phénomène des plus intéressants.

Il serait à souhaiter que si l'on retrouvait une eau de mer semblable on put en prendre une quantité suffisante pour une analyse quantitative.

La bouteille Richard (petit et grand modèle)

Par Jules Richard

(Cette note, publiée dans le Bull. Inst. Océanogr., nº 374, 25 juillet 1920, a été reproduite dans la présente publication, Fasc. LXXXIX, p. 351, Pl. I, fig. 1).

Sur trois nouveaux messagers destinés aux opérations océanographiques

Par Jules Richard

(Cette note, publiée dans le Bull. Inst. Océanogr., nº 159, 1er février 1910, a été reproduite dans la présente publication, Fasc. LXXXIX, p. 352, Pl. I, fig. 15-17).

Sur un appareil destiné à démontrer que la quantité des gaz dissous dans les grandes profondeurs de la mer est indépendante de la pression

Par Jules Richard

(Cette note, publiée dans le C. R. de l'Acad. des Sc., le 14 décembre 1896, a été reproduite dans la présente publication, Fasc. LXXXIX, p. 355, Pl. II, fig. 1-5).

Recherche de l'argon dans les gaz de la vessie natatoire des Poissons et des Physalies *

Par Th. Schlœsing fils et Jules Richard

« Au cours de la dernière campagne effectuée dans l'Atlantique par la *Princesse Alice*, l'un de nous a recueilli des gaz provenant de la vessie natatoire de Physalies et de Poissons habitant à diverses profondeurs [1]. Il a dosé, dans un assez grand nombre d'échantillons, l'acide carbonique, l'oxygène et l'azote et obtenu, en moyenne, des résultats tels que les suivants :

Profondeurs auxquelles les animaux ont été pris.	*Polyprion cernium* V. Surface.	*Physalies* Surface.	*Muræna helena* L. 88m.	*Synaphobranchus pinnatus* Gr. 900m.	1385m.	
Acide carbonique	2,2	0,0	6,4	3,1	0,0	3,6
Oxygène	18,8	12,2	73,1	75,1	78,4	84,6
Azote	79,0	87,8	20,5	21,8	21,6	11,8

« A propos de ces chiffres, nous ferons seulement remarquer l'abondance de l'oxygène dans la vessie natatoire de Poissons tirés des profondeurs. Il n'est pas certain qu'elle s'observerait dans les conditions normales de leur existence. Elle peut tenir à ce que, durant l'ascension des nasses, ascension qui se faisait à raison de 1000m par heure, de l'oxygène a été abandonné par l'hémoglobine sous l'influence de la décompression.

« Notre but aujourd'hui est surtout de présenter les résultats que nous a fournis le dosage de l'argon dans les gaz des vessies natatoires.

« Nous disposions de trois échantillons, dont voici la provenance et la composition en acide carbonique, oxygène et azote [2] :

	Physalies prises à la surface de la mer.	Murènes prises à 88m de profondeur.	*Synaphobranchus* pris à 1385m de profondeur.
Acide carbonique pour 100.....	1,7	7,1	6,1
Oxygène	15,1	85,7	79,6
Azote (et argon)	83,2	7,2	14,3

« Après absorption de l'acide carbonique et de l'oxygène, il nous est resté les quantités de gaz suivantes :

	Physalies	Murènes	*Synaphobranchus*
A 0° et 760mm.....	410cc,3	19cc,4	27cc,8

quantités sur lesquelles nous avons entrepris le dosage de l'argon suivant un procédé précédemment décrit [3]. Nous avons obtenu 4cc,83, 0cc,36 et 0cc,54 de résidus

* C. R. Acad. Sciences, 9 mars 1896.

[1] *Comptes rendus*, 1er avril 1895, et *Bulletin du Museum*, séance du 28 janvier 1896.

[2] Sur l'un des échantillons, le troisième, a été exécutée une analyse eudiométrique qui a montré l'absence de tout gaz combustible.

[3] *Comptes rendus*, 14 octobre 1895.

gazeux non absorbables par le magnésium au rouge et ne s'unissant pas à l'oxygène sous l'influence de l'étincelle d'une bobine Ruhmkorff en présence de potasse. Introduits à la pression de quelques millimètres de mercure dans des tubes de Plücker, ces résidus ont fourni des spectres où se reconnaissaient manifestement les raies de l'argon ; nous n'y avons pas aperçu celles de l'hélium. Nous les considérons comme consistant essentiellement en argon. Rapportons leurs volumes à ceux des gaz traités ; nous avons :

	Physalies.	Murènes.	*Synaphobranchus*.
$\frac{\text{argon}}{\text{azote} + \text{argon}}$.....	$\frac{4^{cc},83}{410^{cc},3} = 1,18\,\%$	$\frac{0^{cc},36}{19^{cc},4} = 1,85\,\%$	$\frac{0^{cc},54}{27^{cc},8} = 1,94\,\%$

« Dans l'air normal, on trouve par le même procédé de dosage, sans correction, $1^{vol},184$ d'argon pour 100 volumes du mélange d'azote et d'argon.

« Les taux pour 100 de 1,85 et 1,94 ont été obtenus avec des quantités de gaz si minimes, qu'on n'oserait dire qu'ils sont très exacts. Ils prouvent néanmoins que l'argon est présent dans l'organisme d'animaux vivant à des profondeurs qui dépassent 1300^{m} et qu'il s'y rencontre en proportion à peu près de même ordre, par rapport à l'azote, que dans notre atmosphère. Il eût été intéressant d'examiner, au point de vue de la teneur en argon, les gaz dissous dans l'eau [1], constituant le milieu ambiant pour ces animaux, en même temps que les gaz des vessies natatoires. C'est une étude sur laquelle il sera peut-être possible de revenir ultérieurement.

« Quant au taux de 1,18 pour 100, présenté par des Physalies prises à la surface de l'eau, il peut être considéré comme exactement déterminé. Il est, on le voit, à très peu près identique au taux de l'argon dans l'air normal.

« La vessie natatoire des Physalies est, comme on sait, pourvue d'un orifice qui est susceptible de se fermer et de s'ouvrir, et sur le rôle duquel on n'est pas bien fixé. Laisse-t-il entrer l'air extérieur ? L'identité que nous trouvons, pour le rapport de l'argon à l'azote, entre les gaz internes de la vessie et l'air normal, n'exige pas qu'on réponde à la question par l'affirmative. Elle s'accorde soit avec la pénétration directe de l'air extérieur par l'orifice dont il s'agit, soit avec la diffusion de l'azote et de l'argon, traversant divers organes pour parvenir à la vessie, l'ensemble de ces organes laissant passer l'argon et l'azote de telle manière que le rapport qu'ils offrent dans l'air originel ne soit pas finalement altéré ; dans le second cas, si l'argon et l'azote se retrouvent avec ce même rapport, c'est vraisemblablement qu'ils ne prennent part à aucune action chimique dans l'organisme ».

---

[1] **MM. Troost et Ouvrard ont déjà constaté la présence de l'argon, et aussi de traces d'hélium, dans les gaz dissous par l'eau de mer de la surface (*Comptes rendus*, t. CXXI, p. 799).**

De la solubilité de quelques substances dans l'eau de mer *

Par J. Thoulet

« Le procédé dont je me suis servi pour mesurer la solubilité de diverses substances dans l'eau de mer consiste à pulvériser la substance et à la trier en grains égaux par un double tamisage à travers deux tamis calibrés, à la dessécher complètement et à en peser deux portions à peu près égales.

« L'une de ces portions a été placée dans un flacon de 1^{lit}, bouché à l'émeri, et mise en contact avec un volume connu d'eau de mer (700^{cc} à 750^{cc}) filtrée ; chaque jour on agitait ; chaque semaine, on vidait l'eau à l'aide d'un filtre siphon, *per ascensum*, et on la remplaçait par de l'eau nouvelle. Après une durée d'immersion suffisante, on remplaçait l'eau de mer par de l'eau distillée, mais en même temps, dans des conditions absolument identiques, on soumettait la seconde portion de la substance au même traitement, au contact d'eau distillée, en même quantité et provenant du même récipient ; chaque semaine, on changeait l'eau dans les deux flacons et on la remplaçait par de l'eau nouvelle. On a filtré une dernière fois, recueilli les deux poudres qu'on a desséchées et pesées. De la perte de poids dans l'eau de mer et dans l'eau douce on retranche la perte de poids dans l'eau douce seule, la différence donne la solubilité dans l'eau de mer.

« Dans des expériences analogues (*Comptes rendus*, t. CVIII, p. 753 ; 1888) j'avais été gêné par un développement d'algues. Cette fois, j'ai opéré dans des flacons recouverts d'étoffe noire et maintenus sous une cloche opaque en carton. En se mettant ainsi à l'abri de toute lumière, il ne s'est point formé d'algues.

« Le diamètre moyen des grains de ponce, de coquilles et de corail était de $0^{mm},85$; celui des globigérines, mesuré au microscope, était de $0^{mm},30$. L'eau de mer, de densité égale à 1,0253 à 11°, a été recueillie dans la Manche, au large de Fécamp ; la perte, rapportée à la superficie des grains, a été calculée en supposant ces grains sphériques et égaux.

« Les résultats obtenus montrent que la solubilité dans l'eau de mer, très faible par elle-même, est en outre notablement plus faible que la solubilité dans l'eau douce. On se rappelle que l'eau douce contient toujours de l'acide carbonique, tandis que l'eau de mer est alcaline.

« Il n'a pas été tenu compte de la porosité des substances parce que l'on a admis que l'eau contenue dans les pores ne tardait pas à se saturer et ne se renouvelait point ».

* C. R. Acad. Sciences, 24 mars 1890, t. CX, p. 652.

		Ponce.	Coquilles.	Corail.	Globigérines.
Durée de l'immersion dans l'eau de mer et dans l'eau douce.	du	4 avril 89	26 oct. 89	26 oct. 89	26 oct. 89
	au	9 août 89	15 févr. 90	15 févr. 90	15 févr. 90
	Nombre de jours	127	119	119	119
Quantité d'eau employée	salée	10550cmc	8450	8450	8450
	douce	2780cmc	3550	3550	3550
Durée de l'immersion dans l'eau douce	du	18 juil. 89	18 janv. 90	18 janv. 90	18 janv. 90
	au	9 août 89	15 févr. 90	15 févr. 90	15 févr. 90
	Nombre de jours	22	35	35	35
Quantité d'eau douce employée		2780cmc	3550	3550	3550
Température	maximum	29°,0	20°,0	20°,0	20°,0
	minimum	11°,5	3°,0	3°,0	3°,0
	moyenne	20°,5	12°,4	12°,4	12°,4
Eau de mer et eau douce	Poids initial	1,7804	4,3045	5,6054	1,6349
	Poids final	1,7439	4,2285	5,4815	1,5768
	Perte par gramme	0,0205	0,0176	0,0221	0,0355
Eau douce	Poids initial	1,7633	4,2948	5,6251	1,6365
	Poids final	1,7408	4,2244	5,5191	1,5840
	Perte par gramme	0,0128	0,0164	0,0185	0,0321
Différence ou solubilité dans l'eau de mer par gramme et par jour.		0,0000733	0,0000142	0,0000429	0,0000405
Solubilité dans l'eau de mer par jour et par décimètre carré		0,000105	0,000039	0,000201	0,000137
Solubilité dans l'eau douce par jour et par décimètre carré		0,000832	0,001843	0,003014	0,003091
Observations		[1]	[2]	[3]	[4]

Expériences sur la sédimentation *

Par J. Thoulet

. . . . . .

. . . . . .

Chute des globigérines. — Comme application des expériences précédentes, j'ai mesuré la vitesse de chute de globigérines dans l'eau de mer.

Ces foraminifères vivent à la surface de l'eau ; après leur mort, leur dépouille calcaire contenant encore un peu de matière organique possède une densité assez faible et, ballottée par les vagues, elle demeure pendant un certain temps au milieu des eaux superficielles et peut même être ainsi entraînée par les courants au delà

[1] Ponce de Lipari.

[2] Coquilles de *Pectunculus pilosus* et de *Cardium edule* en portions à peu près égales, prises au bord de la mer et ayant déjà quelque peu subi l'influence des agents atmosphériques ; elles contiennent 92,72 pour 100 de carbonate de chaux.

[3] Corail mort du genre *Cladocora*.

[4] Globigérines recueillies par S. A. S. le Prince de Monaco à bord de l'*Hirondelle*. L'échantillon portait les indications suivantes : n° 20, 14 juillet 1888, 3e tamis, n° définitif de station 184, chalut prof. 1850m, 40° 5' lat. N., 29° 48' long. W. ; il était entièrement composé de débris calcaires de Foraminifères : *Globigerina*, *Orbulina*, *Textularia*, *Cristellaria*, *Hyperammina*, *Trochammina*, etc.

* Annales des Mines, 1891, p. 30 et C. R. Acad. Sciences, 27 octobre 1890, CXI, p. 619.

des aires où les conditions extérieures sont spécialement favorables à l'habitat de l'espèce animale. Bientôt la matière organique disparaît et réduites alors à l'état purement inorganique, atteignant d'ailleurs à peu de profondeur les zones d'eaux calmes, les globigérines obéissent aux lois de la pesanteur, descendent verticalement et vont s'accumuler sur le fond où elles constituent d'immenses dépôts calcaires destinés peut-être à émerger un jour et, dans les périodes géologiques futures, à devenir les analogues de nos couches calcaires subaériennes élaborées dans les eaux pendant les périodes géologiques antérieures.

On a reconnu par des sondages que les vases à globigérines disparaissent presque entièrement au delà de 5300 mètres de profondeur et que, plus bas, ces foraminifères ne se rencontrent plus qu'en échantillons relativement rares. L'accroissement positif ou négatif du dépôt est l'excès de la quantité des sédiments calcaires qui tombent sur la quantité de ceux qui se dissolvent, cette dernière étant fonction elle-même de la durée du contact avec l'eau. Trois éléments sont donc à considérer dans l'étude de la genèse des dépôts : la quantité de matière calcaire en suspension dans les eaux superficielles, la solubilité et la vitesse de chute, cette dernière donnée destinée à faire savoir si la globigérine disparaît avant d'arriver au fond ou seulement après s'être arrêtée et tandis qu'elle repose sur le sol.

M. John Murray[1], après avoir pesé la quantité de carbonate de chaux (sous forme de coccosphères, rhabdosphères, foraminifères, ptéropodes et autres mollusques) recueillie par lui sur un espace déterminé avec un filet fin, estime que 16 tonnes anglaises, au minimum, de ce carbonate se trouvent en suspension dans une masse d'Océan ayant une surface de 1 kilomètre carré sur une profondeur de 100 brasses. Ce chiffre serait même très inférieur à la réalité. Il est vrai que les coccosphères et les rhabdosphères, à cause de leurs petites dimensions, doivent demeurer pendant très longtemps le jouet des courants et des vagues dans les couches supérieures de la mer.

Les globigérines expérimentées ont été recueillies à bord de l'*Hirondelle* par S. A. S. le Prince de Monaco, qui a bien voulu me les faire remettre. Le tube les contenant était étiqueté : tube n° 20, 14 juillet 1888, 3e tamis (tamis le plus fin), numéro définitif de station 184 ; chalut, 1850 mètres, latitude 40° 5' N., longitude 29° 48' W. Les foraminifères complets ou brisés appartenaient en majorité aux espèces *Globigerina* et *Orbulina* ; on y trouvait aussi les espèces *Cristellaria*, *Hyperammina*, *Trochammina* et des débris de radiolaires siliceux.

Un triage a été exécuté dans un tube vertical[2] ; un courant ascendant d'eau de mer auquel on a donné successivement les vitesses de $2^{cm},93$, $2^{cm},41$; $1^{cm},35$ et $0^{cm},74$

[1] John Murray, *Structure, origin and distribution of coral Reefs and Islands*, Royal Institution of Great Britain, March 16, 1888 *in* Thoulet, *Océanographie statique*, p. 259.

[2] J. Thoulet, *Expériences relatives à la vitesse des courants d'eau ou d'air susceptibles de maintenir en suspension des grains minéraux de volume et de densité déterminés*, Compt. rendus de l'Acad. des Sc., t. XCVII, p. 1513, et Annales des Mines, mai-juin 1884.

par seconde et auquel on a soumis l'ensemble des globigérines a séparé celles-ci en cinq catégories dont le diamètre moyen, mesuré au microscope sur un très grand nombre d'échantillons, était respectivement de 0,75, 0,50, 0,33, 0,26 et $0^{mm},12$.

On a choisi un tube en verre très droit, rempli d'eau de mer et portant deux repères à la distance de 1750 millimètres ; on y versait par petites portions les foraminifères de chacune des catégories, on notait au compteur à pointage le passage du premier et du dernier individu au repère inférieur et on prenait la moyenne de la durée de chute. Chaque expérience a été recommencée 20 fois et on a de nouveau calculé la moyenne des temps. Les différences en plus ou en moins ont été remarquablement faibles et par conséquent négligeables.

Connaissant la vitesse par seconde, on a calculé le temps mis par les globigérines pour tomber de la surface jusqu'à la profondeur de 1850 mètres où on les a recueillies. Les résultats obtenus sont indiqués sur le tableau suivant :

NUMÉROS d'ordre	DIAMÈTRE moyen en millim.	RÉSISTANT à courant. Centimètres par seconde	ENLEVÉES par un courant. Centimètres par seconde.	CHUTE verticale. Centimètres par seconde	TEMPS pour atteindre 1.850 mètres
1	0,75	2,93	»	3,78	13h 35'
2	0,50	2,41	2,93	2,74	18h 45'
3	0,33	1,35	2,41	2,05	25h 3'
4	0,26	0,74	1,35	1,26	40h 5'
5	0,12	»	0,29	0,70	73h 25'

La vitesse de chute jusqu'au fond est donc remarquablement rapide et les globigérines, comme d'ailleurs tous les innombrables corpuscules solides qui traversent en pluie continue les couches de l'Océan, entraînent avec elles leur gaine d'air qui aère les eaux abyssales.

Nous résumerons de la façon suivante les conclusions des expériences décrites.

Les particules immergées dans l'eau tombent avec une vitesse sensiblement uniforme d'autant plus grande que la différence de densité est plus considérable entre le solide et le liquide, diminuant lorsque la température se rapproche de celle pour laquelle le coefficient de la dilatation de l'eau distillée est égal à celui des particules ; au moins jusqu'à une douzaine d'atmosphères, la pression paraît être sans influence.

On sait que les corps solides en dissolution sont attirés et se fixent en partie à la surface des particules immergées, de sorte que, même à doses très faibles, ils activent la vitesse de chute. Dans les mêmes circonstances, l'air en dissolution se fixe également sur les particules ; sa présence, démontrée directement, à l'état de gaine adhérente à la surface des particules et constituant ainsi l'ensemble complexe

d'une sorte de molécule mécanique, explique diverses particularités de la chute des sédiments. Elle rend compte de l'aération et par suite de l'habitabilité des eaux abyssales de l'Océan.

La précipitation des argiles s'opère dans de l'eau douce additionnée de 10 p. 100 d'eau de mer, et par conséquent de densité égale à 1,002, absolument comme dans l'eau de mer pure. Cette observation permet de déterminer par une mesure aréométrique la véritable limite entre l'Océan et les continents à l'embouchure des fleuves.

Le temps nécessaire pour que les matériaux solides et en particulier les globigérines traversent les eaux océaniques et parviennent sur le sol sous-marin pour s'y accumuler et y constituer les dépôts est relativement court. Comme d'ailleurs le pouvoir dissolvant de l'eau de mer est faible [1], au moins à la pression ordinaire, il en résulte que la perte de poids subie par ces matériaux pendant leur descente est peu importante.

Le phénomène des nappes ou strates multiples superposées formées par des poussières très fines tombant à travers un liquide peut être attribué à de simples causes mécaniques ; il ne s'observe qu'au sein de liquides contenus dans des récipients de faibles dimensions.

Sur la constitution du sol des grands fonds océaniques

Par J. Thoulet

(C. R. Acad. des Sciences, 4 février 1901, CXXXII, p. 274. Cette note ayant été développée dans le Fasc. XIX (1901) de la présente publication, où l'auteur a omis de la citer, n'a pas à être reproduite ici). (J. R.).

Sur la constitution du sol subocéanique

Par J. Thoulet

(C. R. Acad. des Sciences, 24 février 1902, CXXXIV, p. 496. Cette note ayant été développée dans le Fasc. XXII (1902) de la présente publication, où l'auteur a omis de la citer, n'a pas à être reproduite ici). (J. R.).

Sur les fragments de pierre ponce des fonds océaniques

Par J. Thoulet

(C. R. Acad. des Sciences, 24 mars 1902, CXXXIV, p. 728. Cette note ayant été développée dans le Fasc. XXIX (1905) de la présente publication, où l'auteur a omis de la citer, n'a pas à être reproduite ici). (J. R.).

---

[1] J. Thoulet, *Solubilité de divers minéraux dans les eaux de la mer*, Comptes rendus de l'Acad. des Scienc., t. CVIII, p. 753, 1889, et t. CX, p. 652, 1890.

Étude d'échantillons d'eaux et de fonds provenant de l'Atlantique nord

Par J. Thoulet

(C. R. Acad. des Sciences, 5 mai 1902, CXXXIV, p. 1077. Cette note ayant été développée dans le Fasc. xxii (1902) de la présente publication, où l'auteur a omis de la citer, n'a pas à être reproduite ici). (J. R.).

Sur la constitution du sol sous-marin *

Par J. Thoulet. (Extrait).

« Le tube sondeur Buchanan, qui sert ordinairement aux grands sondages, découpe dans le sol sous-marin un boudin d'une longueur de 16^{cm} à 17^{cm} environ. J'avais analysé (*Comptes rendus*, 5 mai 1902) les deux extrémités d'un certain nombre de ces boudins provenant de la campagne de la *Princesse Alice*, à S. A. S. le Prince de Monaco, dans l'archipel du Cap-Vert, en 1901. J'avais reconnu que leur constitution était sensiblement la même sur toute leur épaisseur.

« Grâce à certains perfectionnements apportés à la construction des appareils, le Prince a pu, en Méditerranée, le 15 mai dernier (Stn. 1259, par 43° 41' N., 5° 6' 10" E., et 615^{m} de profondeur), découper dans le sol immergé et ramener un boudin ayant 42^{cm} de longueur, que j'ai, comme les précédents, analysé à ses deux extrémités.

« ... L'analyse et l'observation microscopique sont d'accord pour montrer que pendant le temps, probablement très long, nécessaire pour le dépôt, au fond de la mer, d'une couche épaisse de 42^{cm}, la constitution du sol n'a pas sensiblement changé. Cela, bien entendu, sous réserve des changements brusques qui s'accomplissent quelquefois, dans cette constitution, en certaines localités, et dont l'étude des fonds de l'Atlantique nord m'a fourni deux exemples frappants.

« Il en résulte que la nature des couches marines dépend bien moins de la profondeur que des conditions de tous genres et des phénomènes s'accomplissant dans les portions superficielles des eaux sus-jacentes.

« Ces lois peuvent s'appliquer aux couches géologiques, anciens fonds de mer actuellement inondés.

« J'ai analysé, comme un fond marin actuel, un échantillon de craie provenant des falaises d'Étretat. La constitution générale de cette craie offre une ressemblance remarquable avec celle du fond méditerranéen. La seule différence est que l'un est vaseux et l'autre calcaire. Il semble donc qu'on soit en droit d'en tirer les conclusions suivantes :

* C. R. Acad. des Sciences, 21 juillet 1902, CXXXV, p. 215.

« La mer au fond de laquelle s'est déposée la craie d'Étretat présentait une grande ressemblance mécanique avec la Méditerranée actuelle. Mais tandis que cette dernière, au moins dans le golfe de Gênes, est entourée de hautes montagnes constituées par des roches cristallines, donnant par leur destruction des grains de quartz anguleux et beaucoup d'argile, la mer crétacée, au moins dans la région d'Étretat, n'était pas bordée de hautes terres à roches cristallines et se trouvait dans des conditions climatériques analogues à celles de la région actuelle de l'archipel du Cap-Vert, où la richesse du fond en calcaire dépasse tout ce qu'on peut imaginer... ».

Étude de la circulation marine

Par J. Thoulet

(C. R. Acad. Sciences, 6 juillet 1903, CXXXVII, p. 97. Cette note ayant été développée dans le Fasc. XXIX (1905) de la présente publication, où l'auteur a omis de la citer, n'a pas à être reproduite ici). (J. R.).

Océanographie de la région des Açores *

Par J. Thoulet

Les nombreuses données recueillies par le Prince de Monaco pendant ses diverses campagnes autour des Açores, tant à bord de l'*Hirondelle* que de la *Princesse Alice*, données dont il a bien voulu me confier l'élaboration, permettent d'obtenir dès à présent une notion de diverses conditions océanographiques de cette remarquable région volcanique. En un nombre considérable de stations, on a déterminé la profondeur, mesuré les températures, récolté des échantillons d'eaux et de fonds qui ont été analysés dans mon laboratoire de Nancy. On y a joint les renseignements provenant dans certains cas, d'autres bâtiments, notamment le *Challenger*, les navires télégraphistes anglais et la canonnière portugaise l'*Açor*.

Les résultats ont été représentés graphiquement sous forme de cartes, chacune se rapportant à une seule donnée particulière et teintée de façon à mettre en lumière le groupement des observations, quelle que fût leur espèce ainsi que la conclusion à en tirer. Toutes les stations étant marquées, chaque document porte en quelque sorte avec lui l'indication de son degré de précision.

1. *Carte bathymétrique.* — Les courbes isobathes à l'échelle du 1/1000000, ont été tracées à 200, 500, 1000^{m} et ensuite de 500^{m} en 500^{m}, jusqu'à 3500^{m}.

* C. R. Acad. Sciences, 20 juin 1904, CXXXVIII, p. 1643 et Bull. Mus. Océan. Monaco, n° 17, 5 juillet 1904.

Les sept îles orientales de l'Archipel apparaissent comme les sommets d'un immense cratère en demi-cercle dont l'ouverture est tournée vers le sud. Le sol sous-marin est hérissé de pics aux flancs abrupts et de caldeiras, véritables cratères adventifs aux pentes rapides. Si l'on supprime par la pensée l'eau qui recouvre le lit marin, on verra que celui-ci possède une ressemblance frappante avec un paysage lunaire ou, pour prendre une image moins lointaine, avec les Champs Phlégréens, près de Naples.

2. *Carte de la distribution du calcaire sur le fond.* — Le carbonate de chaux des échantillons du fond a été évalué par dosage en poids de l'acide carbonique ; 67 analyses ont été exécutées. Sur la carte bathymétrique servant toujours de canevas, on a délimité et rendu plus visible par des teintes plates colorées, de plus en plus intenses, cinq aires d'égale teneur en calcaire, de 0 à 5, de 5 à 25, de 25 à 50, de 50 à 75 et de 75 à 100 % de carbonate de chaux. D'une façon générale, la teneur en calcaire augmente avec la profondeur. Cette étude qui touche à la genèse des roches sédimentaires anciennes, est d'un notable intérêt pour la géologie.

3. *Carte de la distribution de la température au fond.* — On a reporté sur la carte bathymétrique 37 mesures thermométriques. On les a réparties en 9 aires isothermes. Ce document, outre son intérêt théorique, est d'une utilité spéciale pour la télégraphie sous-marine.

4. *Carte de distribution de la température à 1000 mètres de profondeur.* — Cette feuille, très insuffisamment documentée aujourd'hui, permettra, lorsqu'elle aura été complétée par des mesures ultérieures, de se rendre compte de la marche des courants à cette profondeur de 1000^{m}, limite entre les eaux abyssales, caractérisées par leur immobilité, et la zone superficielle essentiellement mobile des eaux improfondes.

5. *Carte de la distribution de l'ammoniaque totale contenue dans les fonds.* — On admet que la matière organique contenue dans les fonds réagit par son ammoniaque sur le sulfate de chaux en dissolution dans les eaux marines, pour donner naissance, par précipitation, à du carbonate de chaux. Peut-être ce précipité contribue-t-il à cimenter entre eux les débris incohérents des foraminifères calcaires tombés de la surface et amoncelés sur le fond. Ainsi se formerait le calcaire compact tel que nous le voyons dans les couches géologiques, autrefois fonds de mer et maintenant exondées. Quatre catégories ont été indiquées pour les diverses teneurs des fonds en ammoniaque. Celles-ci manifestent une extrême diversité de sorte que la loi de répartition, pour avoir chance d'être établie, exige l'étude d'un nombre d'échantillons plus considérable permettant de dégager l'influence locale. Il semble cependant que la richesse en ammoniaque soit plus grande près des côtes qu'au large et dans les fonds peu profonds que dans les fonds profonds.

Le nombre de ces cartes, toutes exécutées sur le même canevas bathymétrique, d'une région maritime dont la superficie est sensiblement égale à celle de la France,

sera certainement augmenté et peut l'être indéfiniment, chacune d'elles étant destinée à mettre en lumière un fait particulier unique. Cartes anciennes et cartes nouvelles, pour être de plus en plus perfectionnées, n'auront qu'à mettre en œuvre, d'une façon identique, tous les sondages qui seront faits ultérieurement dans la région.

La fosse de l'Hirondelle, dans l'archipel des Açores *

Par J. Thoulet

(Pl. 1, fig. 12)

« La fosse de l'Hirondelle située entre S. Miguel et Terceira, dans l'archipel des Açores, a pu être étudiée, grâce aux sondages exécutés par le Prince de Monaco, en 1887, à bord de son yacht l'*Hirondelle*, et, en 1902, à bord de la *Princesse Alice*. Sur son bord sud-est, à 1,5 mille de la Pointe-Ferraria, de S. Miguel, se trouve l'emplacement où, le 18 juin 1811, par 40 brasses de fond, apparut l'île de Sabrina, qui disparut complètement trois mois après. La fosse, comprenant un espace d'environ 60 milles sur 50 milles, c'est-à-dire d'une superficie un peu supérieure à celle du lac Léman, a été déterminée par 29 sondages, dont 15 ont rapporté des échantillons de fonds que j'ai ensuite analysés mécaniquement, chimiquement, macroscopiquement et microscopiquement dans mon laboratoire de Nancy. J'en ai dressé une carte bathymétrique au $\frac{1}{500\,000}$, accompagnée de deux sections perpendiculaires entre elles. Les conclusions auxquelles j'ai été amené sont les suivantes :

« L'archipel volcanique des Açores consiste en trois plateaux correspondant à peu près à l'isobathe de 1500^{m}. Le premier porte les îles de Florès et de Corvo, le second est entièrement sous-marin ; le troisième, véritable plateau des Açores, a pour cimes les îles de Fayal, Pico, S. Jorge, Graciosa, Terceira, S. Miguel et Sta Maria. C'est en réalité un immense cratère hémicirculaire dont la concavité est tournée vers le sud. L'ensemble, hérissé de caldeiras et de pics abrupts, offre l'aspect d'un paysage lunaire.

« La fosse de l'Hirondelle est un cratère adventif du cratère des Açores. Ses fonds, volcaniques, sont constitués surtout par de l'obsidienne et des ponces, et portent les marques de liquations s'étant effectuées au sein d'un même magma, et ayant isolé divers minéraux cristallisés selon les circonstances du refroidissement, ainsi que d'un étonnement au contact brusque des eaux de la mer. L'obsidienne, plus pesante, est plus voisine des orifices d'éjection ; la ponce, plus légère, s'en

* C. R. Acad. Sciences, 18 juillet 1904, CXXXIX, p. 241, 2 fig.

éloigne davantage, sauf dans les creux abrités contre les courants, comme les parties profondes de la fosse de l'*Hirondelle*. Peut-être cette remarque sera-t-elle de nature à permettre, par l'examen microscopique de fonds volcaniques, de préjuger de la position et de l'éloignement probable de l'orifice sous-marin les ayant éjectés.

« Les fonds étudiés apportent l'indication des courants voisins du fond, consécutifs aux éruptions volcaniques sous-marines et dont l'existence a été maintes fois directement observée, notamment à la dernière éruption de la Martinique et à Sabrina même. Ces courants entraînent avec eux les matériaux sableux produits par l'éruption et pulvérisés par étonnement. Plus tard, lorsqu'ils se sont suffisamment atténués par la distance, ils se bornent à déplacer les parties légères vaseuses fines des fonds déjà déposés, tout en laissant en place les grains plus pesants que renfermaient les vases sableuses et qu'ils n'ont plus la force d'entraîner.

« Il semble probable que les raz-de-marée ou lames dites de fond qui causent tant de sinistres sont dus à des commotions sous-marines, éruptions volcaniques ou tremblements de mer. L'onde volcanique courant sur le fond, dans les abîmes, se relèverait brusquement en heurtant les hauts-fonds du lit océanique voisin des côtes. S'il en était ainsi, il serait permis de supposer que le lieu d'origine le plus probable est, pour les côtes occidentales d'Europe, la région des Açores. L'hypothèse serait confirmée par la fréquence plus grande des raz-de-marée entre Brest et Rochefort ou l'embouchure de la Gironde que dans le fond même du golfe de Gascogne, aussi bien sur la côte de France que sur la côte septentrionale d'Espagne protégées par le cap Finisterre, sauf toutefois le cas de réflexions d'onde ».

Étalonnage d'une lunette colorimétrique marine pour S. A. S. le Prince de Monaco

Par J. Thoulet

(Bull. Mus. Océan. Monaco, nº 38, 25 mai 1905. Cette note ayant été développée dans le Fasc. XXIX de la présente publication, où l'auteur a omis de la citer, n'a pas à être reproduite ici). (J. R.).

Le calcaire et l'argile dans les fonds marins *

Par J. Thoulet

Les nombreuses analyses (environ 130) que depuis plusieurs années j'ai exécutées des échantillons en boudins de fonds marins recueillis par S. A. S. le Prince de Monaco et dont il avait bien voulu me confier l'étude peuvent, au point de vue du calcaire et de l'argile, donner lieu aux énoncés de lois suivants résumant les résultats obtenus.

* C. R. Acad. Sciences, 19 mars 1906, CXLII, p. 738.

La constitution mécanique, physique, chimique et minéralogique des fonds marins résulte des circonstances régnant au sein des eaux sus-jacentes et surtout à leur surface, ainsi que de celles régnant sur le fond même. L'étude de cette constitution à ces multiples points de vue permet, par conséquent, de formuler des conclusions relatives aux circonstances ayant présidé à la genèse des fonds.

La proportion relative du sable et de la vase, dans un fond, la mesure de la dimension des grains et l'observation de leur forme anguleuse ou arrondie permettent d'affirmer l'existence de courants à la surface du sol sous-marin et même d'évaluer leur direction et leur intensité.

Rien n'autorise à penser que la proportion de calcaire contenue dans un fond diminue avec la profondeur. Le calcaire tire surtout son origine des innombrables animalcules calcaires (Foraminifères) vivant principalement dans les régions supérieures de la mer et tombant après leur mort en pluie sur le sol sous-jacent. Leur quantité amoncelée en un point quelconque et leur nature dépendent donc des conditions superficielles (courants, température, densité, etc. des eaux) et aussi, quoique beaucoup moins, des conditions intermédiaires et inférieures (courants permanents ou accidentels). On en dirait autant des particules siliceuses d'origine organique (Diatomées). Géographiquement, les événements supérieurs se projettent donc, en donnant à ce mot sa signification géométrique, sur le plan horizontal du lit océanique.

Les dépôts d'origine continentale cessent à une faible distance des rivages. Dans les dépôts profonds qui leur font suite, et en laissant de côté les sédiments d'origine volcanique, l'argile amorphe, résistant aux acides étendus, est d'origine continentale. D'une façon générale, un océan comme le Pacifique, vaste relativement au développement de ses côtes et à l'apport minéral des fleuves qui s'y déversent, aura évidemment un lit peu argileux, tandis qu'un autre océan comme l'Atlantique septentrional et équatorial, dans les conditions inverses, sera très argileux. Mais la proportion d'argile pourra être masquée par les sédiments ayant une autre origine. Le Pacifique est en réalité moins argileux que l'Atlantique, bien que sa superficie soit en majeure partie couverte par l'argile rouge formant, à temps égal, une couche infiniment moins épaisse que celle, en partie calcaire, qui se dépose sur le fond de l'Atlantique. Ce dernier océan est en réalité plus argileux, quoique sa proportion d'argile y soit masquée par le calcaire qui recouvre la presque totalité de son lit, et, à temps égal, la couche de sédiment y est bien plus épaisse. C'est que la rapidité d'accumulation dépend beaucoup plus du calcaire que de l'argile. On aurait, par conséquent, tort de croire que tous les fonds abyssaux sont peu épais et se sont déposés lentement. A profondeur égale, quelque considérable qu'elle soit, un fond abyssal peut être déposé très rapidement et être très épais, tandis qu'ailleurs il peut s'être déposé avec beaucoup de lenteur et être très mince. A durée de sédimentation égale, un fond calcaire offre une épaisseur bien plus grande qu'un fond purement argileux.

Ces considérations, applicables aux sédiments géologiques anciens, éclairent singulièrement les conditions extérieures des océans disparus, contemporains des dépôts aujourd'hui fossiles qui se sont formés autrefois au fond de leur lit.

Note sur la densité des eaux océaniques *

Par J. Thoulet et A. Chevallier

L'importance prise par la mesure des densités des eaux marines profondes destinées à expliquer l'économie de la circulation océanique et l'obligation d'opérer à terre avec une grande précision sur des échantillons conservés, très nombreux et par conséquent de faible volume, conduisent à se demander si la durée de la conservation de ces échantillons ne risque pas de modifier leurs propriétés. Dans le but de résoudre cette question, un certain nombre d'échantillons (23) récoltés pendant la dernière campagne de S. A. S. le Prince de Monaco dans l'archipel du Cap-Vert, déjà analysés le 2 décembre 1901, c'est-à-dire depuis six mois, qui avaient été conservés dans des flacons bien bouchés, mais en vidange, condition éminemment défavorable, ont été étudiés à nouveau. On a repris leur densité à zéro par la méthode du flacon, évalué leurs halogènes au kilogramme par la liqueur d'azotate d'argent titrée et dosé par le réactif de Nessler leur ammoniaque libre et albuminoïde. Il résulte de ces expériences que la conservation des échantillons, à la condition de tenir les flacons convenablement bouchés, n'exerce aucune influence sur la densité et le poids des halogènes contenus. La proportion d'ammoniaque augmente d'une quantité insignifiante à moins que l'échantillon n'ait été filtré. Ce dernier résultat, assez inattendu, reste inexpliqué et cependant, constaté à diverses reprises, il ne saurait être révoqué en doute. Certains échantillons ont été analysés d'abord non filtrés puis filtrés une fois, puis filtrés trois fois, tantôt sur des filtres Schleicher pour analyses quantitatives, tantôt sur des filtres en papier joseph ordinaire ; l'augmentation de la quantité d'ammoniaque a toujours été en s'accroissant proportionnellement au nombre des filtrations.

Le Congrès océanographique international de Stockholm et, après lui, celui de Christiania, ont prescrit l'usage de tables dites « Hydrographische Tabellen » dressées à Copenhague et publiées en mai 1901. On n'a pas encore fait connaître la description des procédés de dosage adoptés pour dresser ces tables, notamment en ce qui touche la mesure de la chloruration, c'est-à-dire le poids de chlore par kilogramme d'eau de mer. Il convient néanmoins de remarquer dès à présent que, bien que d'accord sur un échantillon type dû à la bienveillance de M. Knudsen

* C. R. Acad. Sciences, t. CXXXIV, p. 1606, 30 juin 1902.

de Copenhague, quant à ce qui concerne la proportion des halogènes dosés directement et de la chloruration en suivant les indications des tables, si l'on opère sur des eaux marines récoltées dans l'Atlantique ou dans la Méditerranée par la *PRINCESSE ALICE*, on arrive, pour le même échantillon, à des résultats différents selon que, à l'aide des tables on calcule la chloruration d'après la densité à zéro, directement mesurée, ou que l'on calcule cette même densité à zéro en partant du dosage direct des halogènes.

Nous nous bornerons à donner trois exemples.

Station	Densité à o mesurée direct^{t} S°_{4}	Halogènes dosés directement	Chloruration d'après les Hydrographische Tabellen		Différences
			déduite des halog.	déduite de S°_{4}	
1137 (Atlantique)	1,02821	19,62	19,48	19,43	+ 0,05
1117 (Atlantique)	1,02851	19,71	19,57	19,54	— 0,07
1255 (Méditer.)	1,03089	21,38	21,16	21,27	— 0,11

Des différences analogues ont été constatées sur 23 échantillons d'eaux provenant de l'Atlantique nord et plus encore, sur 8 échantillons de la Méditerranée. La moyenne des différences est de + 0,01 pour les premiers et de — 0,12 pour les seconds.

Ces écarts ne confirmeraient-ils pas l'hypothèse que les eaux de même densité ne contiennent pas toujours la même quantité de chlore ou, en d'autres termes, ne possèdent pas exactement la même composition chimique ? S'il en était ainsi, il serait beaucoup plus simple et plus sûr de reconnaître que la chloruration mesurée et calculée selon les prescriptions des Congrès de Stockholm et de Christiania et les « Hydrographische Tabellen » est une caractéristique qui ne saurait s'appliquer d'une manière générale à toutes les eaux marines. On s'en tiendrait à la densité S°_{4} mesurée directement au pycnomètre à o° ou à la densité S^{t}_{4} prise avec l'aréomètre à la température t de l'air pendant l'expérience et ramenée ensuite à S°_{4} puis en dernier lieu, ramenées l'une et l'autre à la densité S^{θ}_{4}, à la température *in situ* θ, au moyen d'un graphique dont la construction a été expliquée ailleurs. Ces deux valeurs S°_{4} et S^{θ}_{4} suffisent pour fournir toutes les données servant à caractériser les eaux et à expliquer les phénomènes de la circulation océanique.

Sur un nouveau type de piézomètre

Par J. Y. BUCHANAN

(C. R. Acad. des Sciences, 18 juillet 1904, CXXXIX, p. 238. Reproduit dans le Fasc. LXXXIX, p. 357 de la présente publication).

TABLE DES MATIÈRES

Pages

Introduction 3

Allemandet (G. H.), Analyses des échantillons d'eau de mer recueillis pendant la Campagne du yacht *Princesse Alice* en 1904 4

Allemandet (G. H.), Analyses des échantillons d'eau de mer recueillis pendant la Campagne du yacht *Princesse Alice* en 1905 10

Allemandet (G. H.), Analyses des échantillons d'eau de mer recueillis pendant la Campagne du yacht *Princesse Alice* en 1906 14

Buchanan (J. Y.), Sur la densité et l'alcalinité des eaux de l'Atlantique et de la Méditerranée 17

Buchanan (J. Y.), A retrospect of oceanography in the twenty years before 1895 20

Buchanan (J. Y.), The Cruise of the *Princesse Alice* (1902) 23

Buchanan (J. Y.), On a remarkable effet produced by the momentary relief of great pressure 29

Chevallier (A.), Courants marins profonds dans l'Atlantique nord 33

Ekman (V. W.), La compressibilité de l'eau de mer 44

Gautier (Armand), Examen de l'eau de mer puisée à différentes profondeurs ; variations de ses composés iodés 85

Gautier (A.), Méthode nouvelle pour rechercher l'arsenic et doser, avec précision jusqu'à un milliardième de ce métalloïde dans les eaux de mer, les eaux minérales, les tissus, etc. 90

Gautier (A.), Arsenic dans les eaux de mer, dans le sel gemme, le sel de cuisine, les eaux minérales, etc. Son dosage dans quelques réactifs usuels 92

Gautier (A.), Sur l'arsenic normal des tissus vivants et les traces d'iode trouvées dans l'air et dans les eaux. Quelques rectifications nécessaires 94

Gockel (A.), La radioactivité des roches 95

Guerne (J. de), L'étude expérimentale des courants de l'Atlantique 96

Guerne (J. de), La *Princesse Alice*, nouveau yacht du Prince de Monaco. Le lancement, les laboratoires ..... 103 et 106

Isachsen (G.), Les glaces autour du Spitzberg en 1907 110

Pouchet (G.), Une expérience sur les courants de l'Atlantique 115

Pouchet (G.), Les eaux vertes de l'Océan 121

Pouchet (G.), De Lorient à Terre-Neuve 123

Pouchet (G.), Conférence sur son voyage aux Açores et à Terre-Neuve 126

Pouchet (G.), La couleur des eaux de la mer et les pêches au filet fin 132

Richard (J.), Sur les gaz de la vessie natatoire des poissons 136

Richard (J.), Sur les gaz de la vessie natatoire des poissons et des physalies 138

Richard (J.), Observations de température des eaux marines arctiques faites pendant les Campagnes du yacht *Princesse Alice* (1906-1907) 140

Pages

Sabrou (L. G.), Analyses des échantillons d'eau de mer recueillis pendant la Campagne du yacht *Princesse Alice* en 1903 156

Schlœsing (Th. fils) et Richard (J.), Recherche de l'argon dans les gaz de la vessie natatoire des poissons et des physalies 158

Thoulet (J.), De la solubilité de quelques substances dans l'eau de mer..... 160

Thoulet (J.), Expériences sur la sédimentation..... 161

Thoulet (J.), Sur la constitution du sol des grands fonds océaniques 164

Thoulet (J.), Sur la constitution du sol subocéanique 164

Thoulet (J.), Sur les fragments de pierre ponce des fonds océaniques..... 164

Thoulet (J.), Étude d'échantillons d'eaux et de fonds provenant de l'Atlantique nord..... 165

Thoulet (J.), Sur la constitution du sol sous-marin 165

Thoulet (J.), Étude de la circulation marine 166

Thoulet (J.), Océanographie de la région des Açores 166

Thoulet (J.), La fosse de l'Hirondelle, dans l'archipel des Açores 168

Thoulet (J.), Étalonnage d'une lunette colorimétrique marine pour S. A. S. le Prince de Monaco... 169

Thoulet (J.), Le calcaire et l'argile dans les fonds marins..... 169

Thoulet (J.) et Chevallier (A.), Note sur la densité des eaux océaniques 171

LÉGENDE DE LA PLANCHE I

Pages

Fig. 1-8. Piézomètres et appareillage de M. Ekman pour la détermination de la compressibilité de l'eau de mer 44

— 9-11. Étude des courants profonds dans l'Atlantique nord 33

— 12. La fosse de l'*Hirondelle* 168

— 13-16. Expériences de M. Buchanan sur la pression dans les profondeurs. 29

— 17. Les glaces autour du Spitzberg en 1907 110

LÉGENDE DE LA PLANCHE II

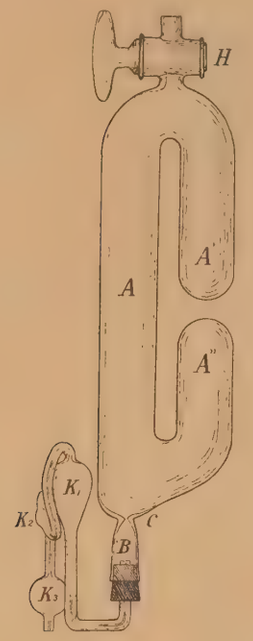
Coloration des eaux de la mer 132

LÉGENDE DES PLANCHES (GRAPHIQUES) I, II, III

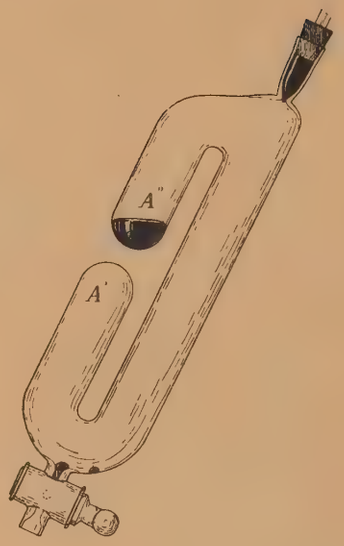
Étude des courants profonds dans l'Atlantique nord 33

LÉGENDE DE LA CARTE

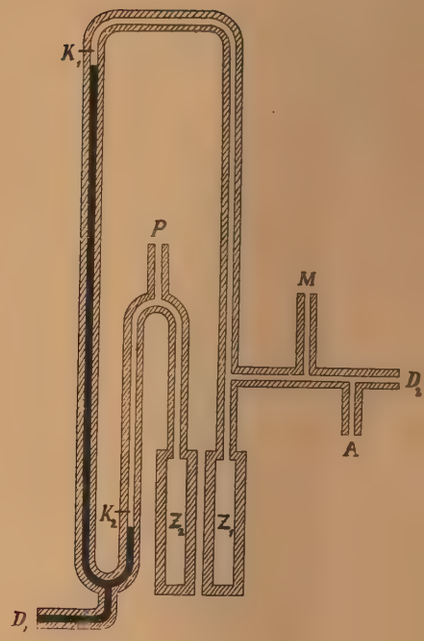
Itinéraires et températures de la surface dans la région du Spitzberg pendant les Campagnes de la *Princesse Alice II* (1906-1907) 140



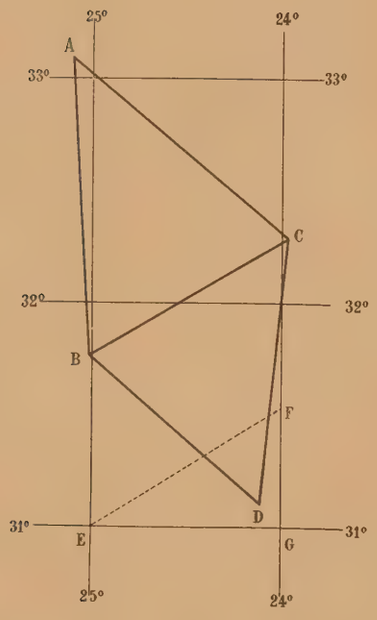
2



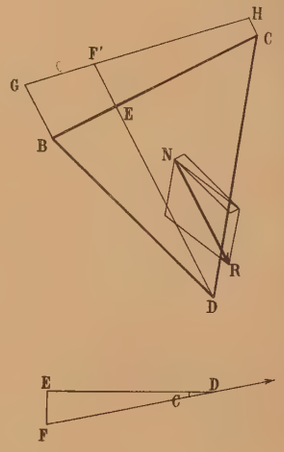
3



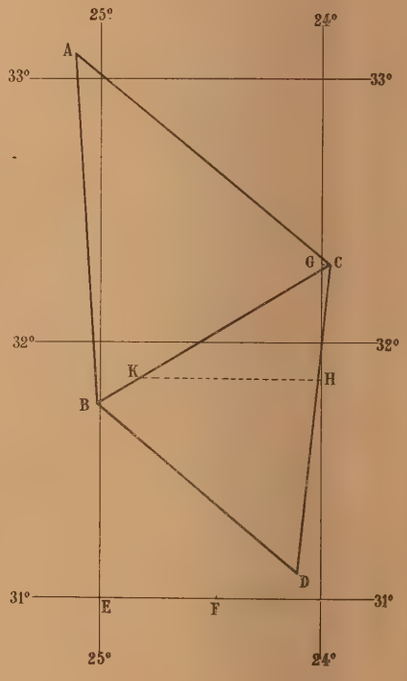
8



9

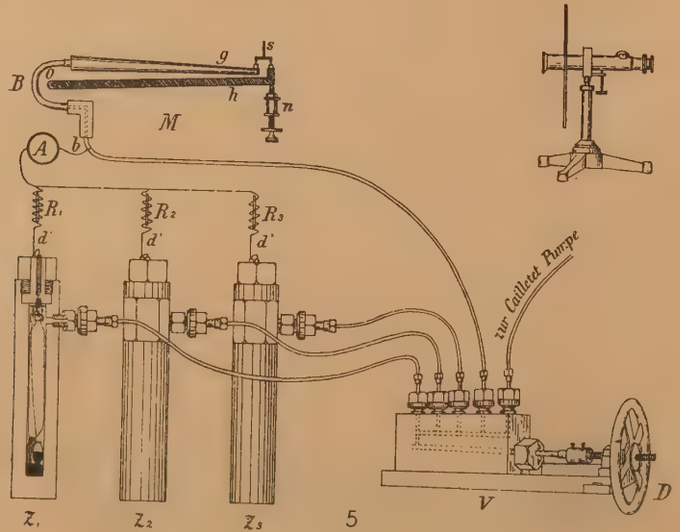


10

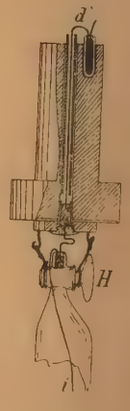


11

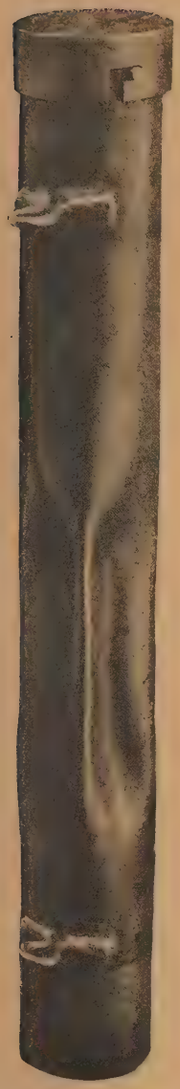
1



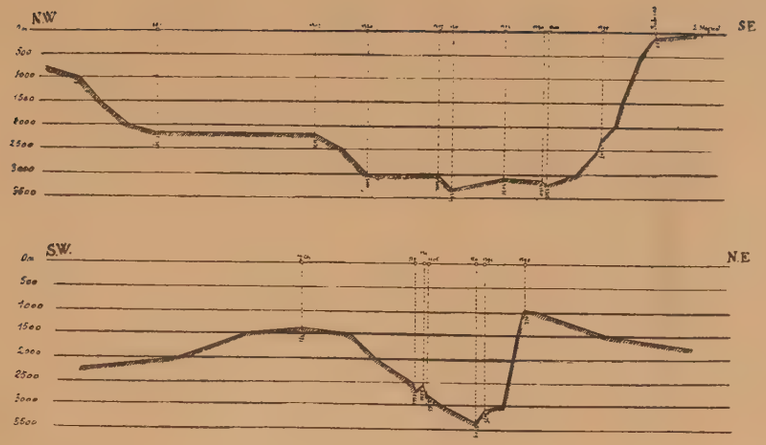
5



6

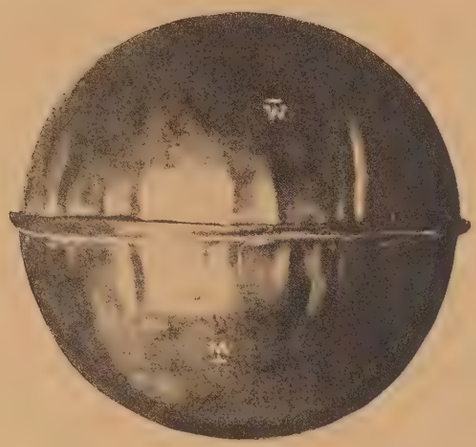


13

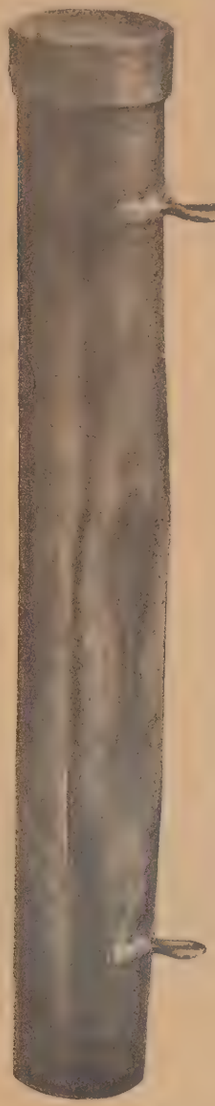


12

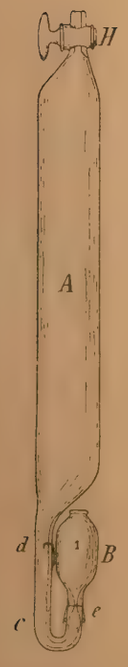
15



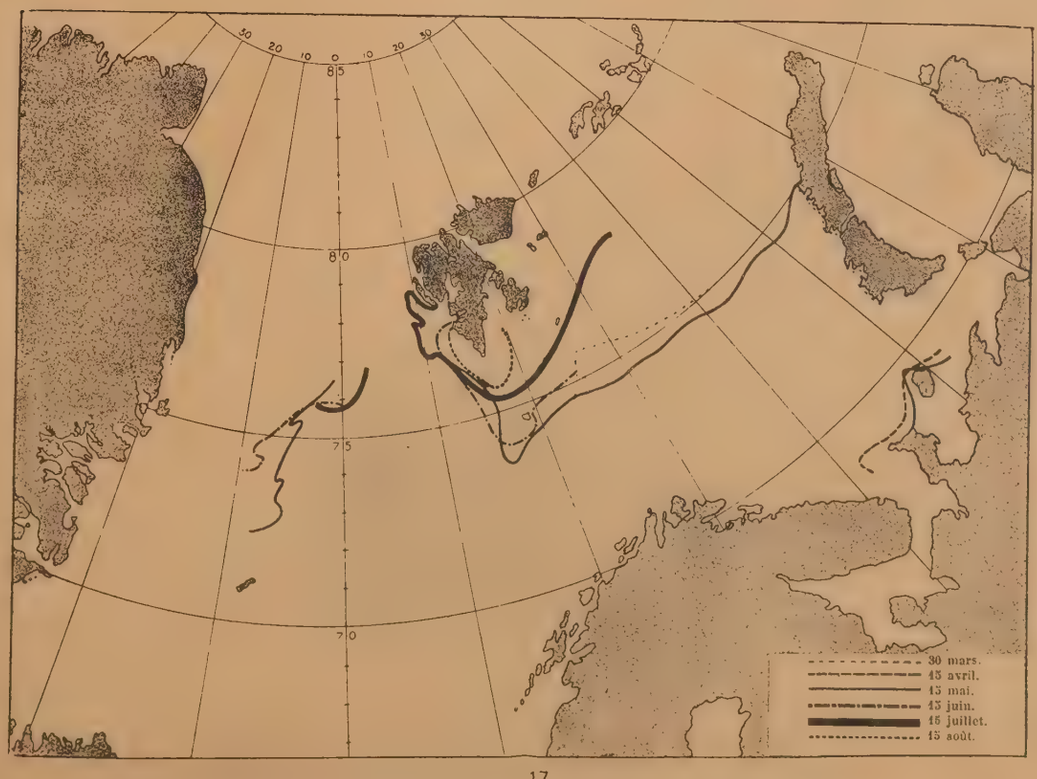
16



14



4

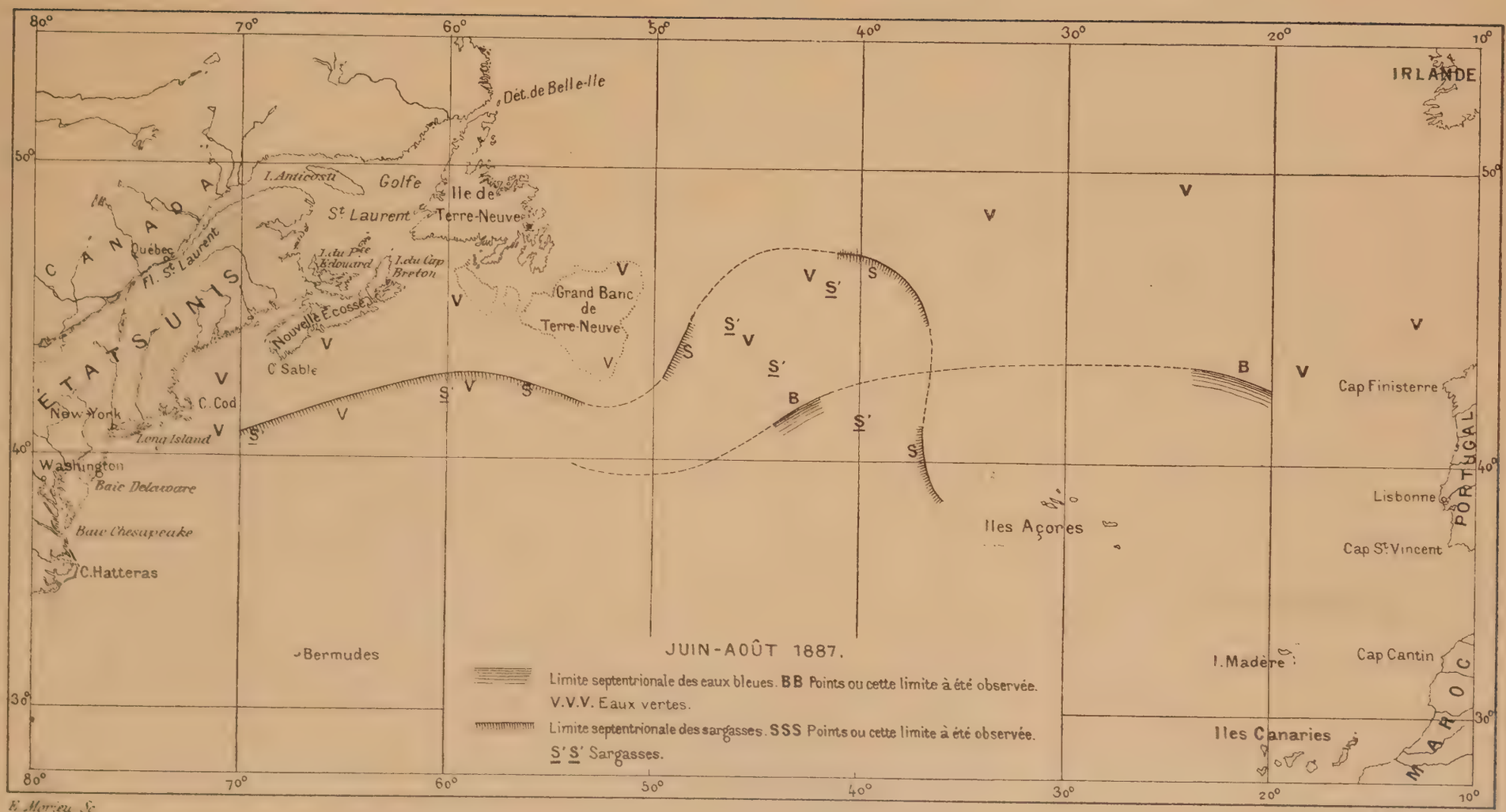


17

7

A.D.I.A., IMP., NICE.

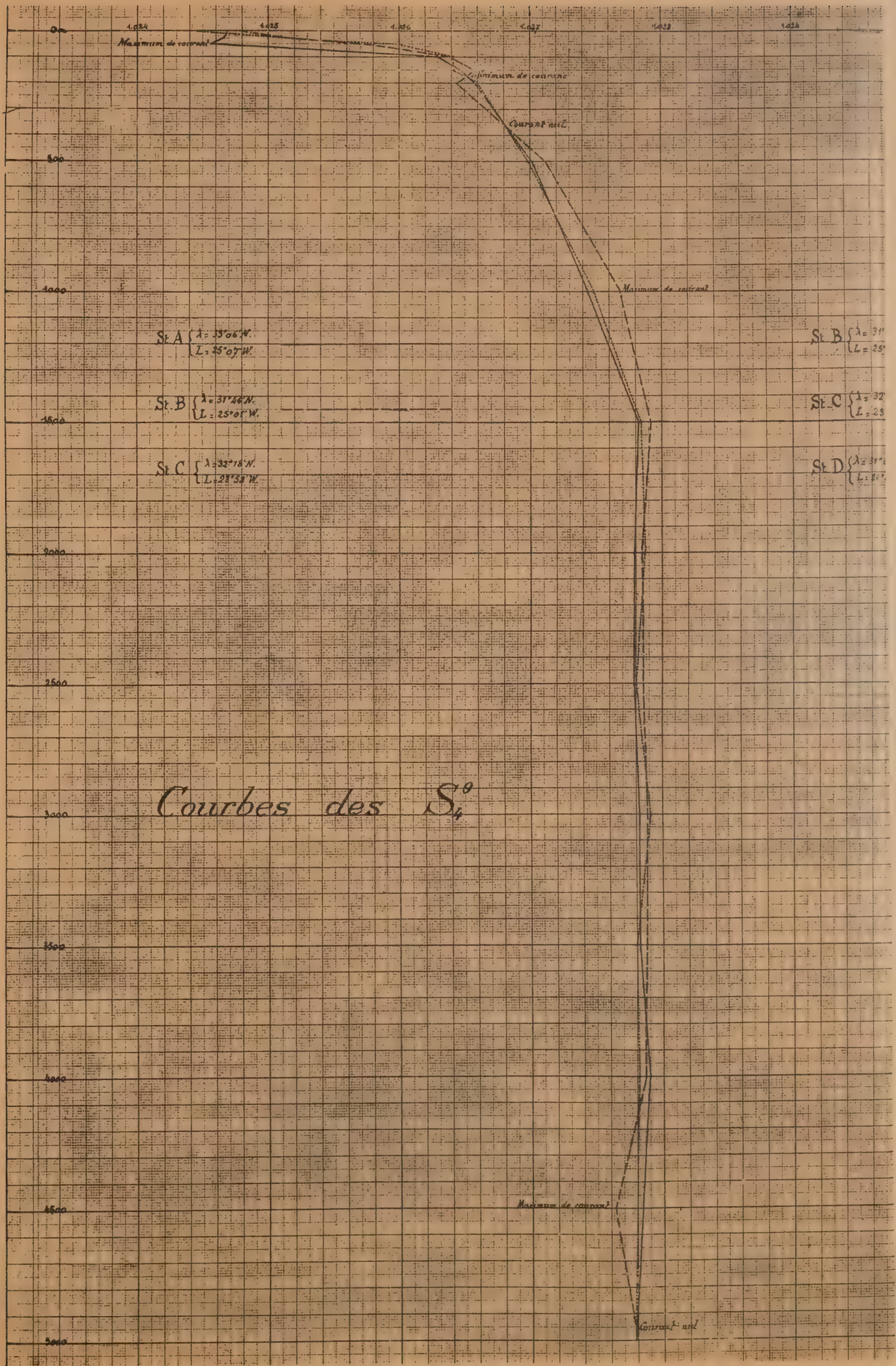
OMPRESSIBILITÉ



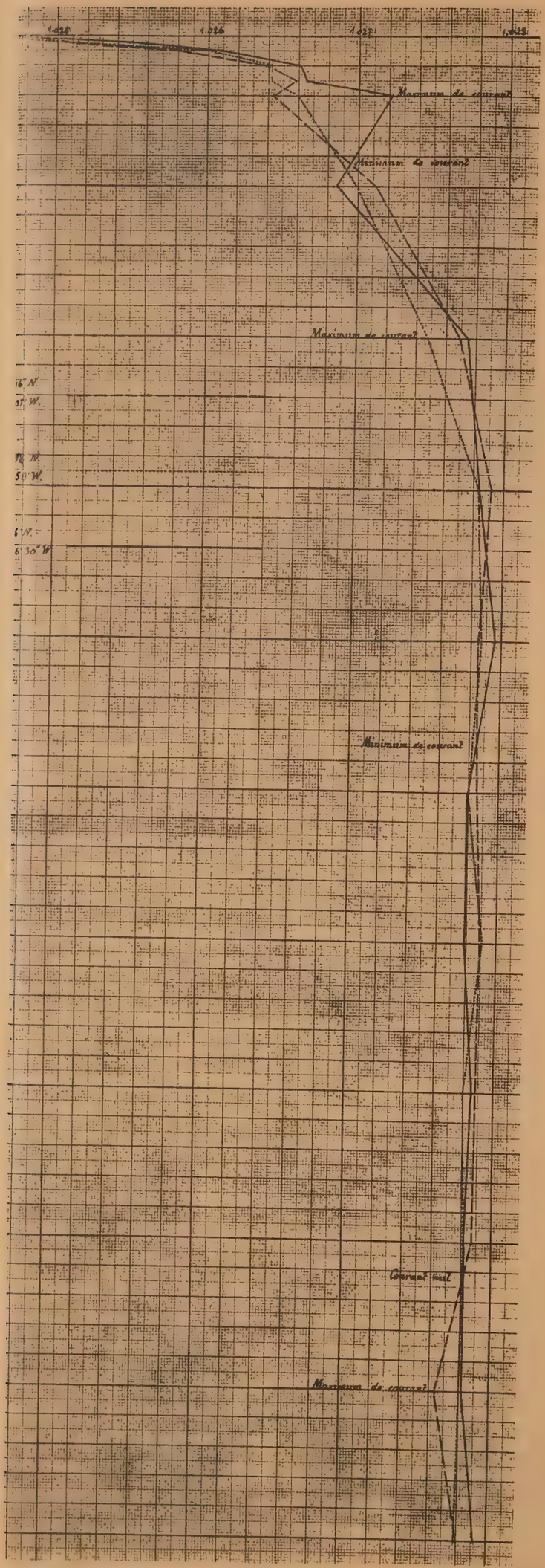
E. Morieu Sc

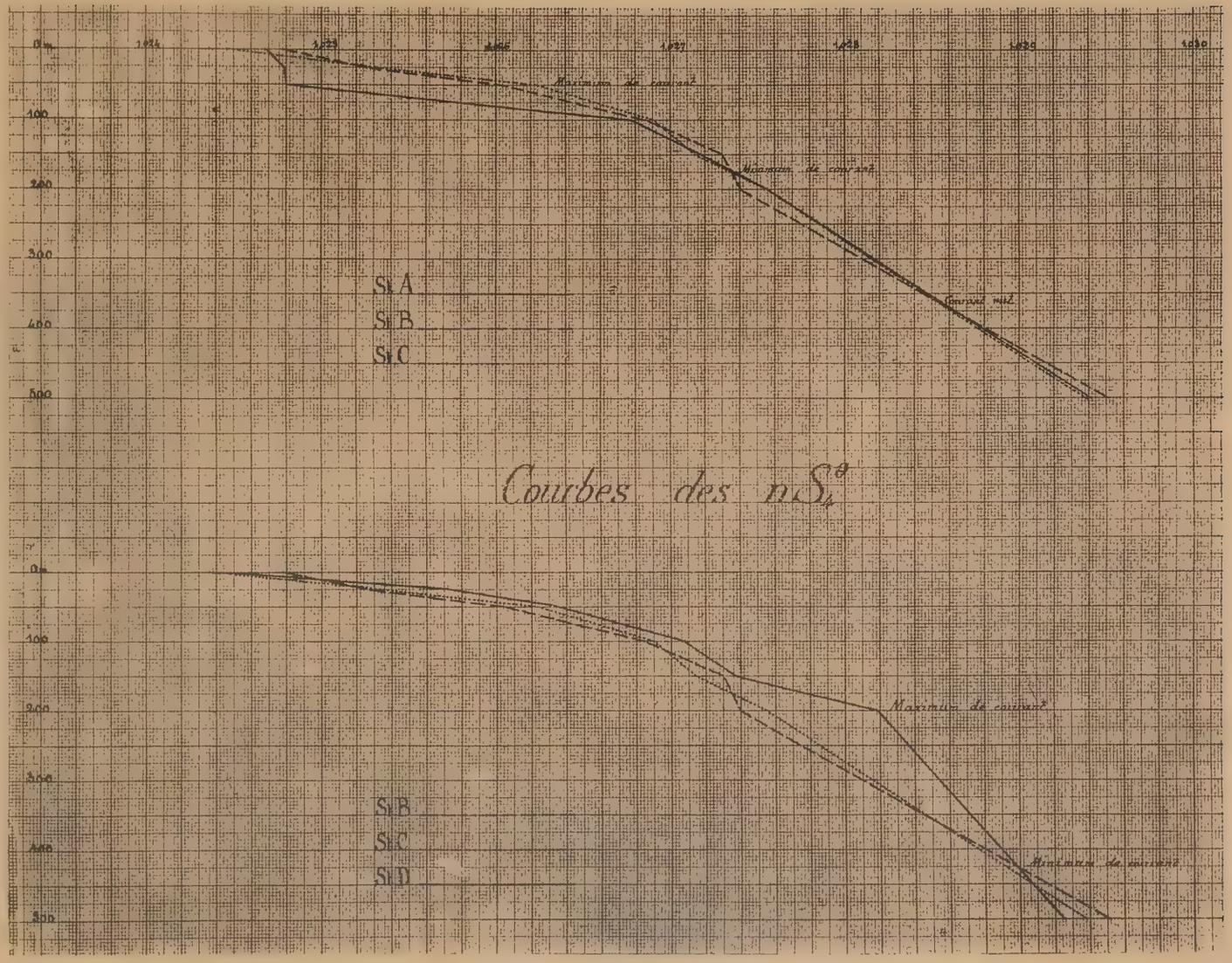
Paris Lith. Lemercier et Cie

G. POUCHET — COLORATION DES EAUX DE LA MER

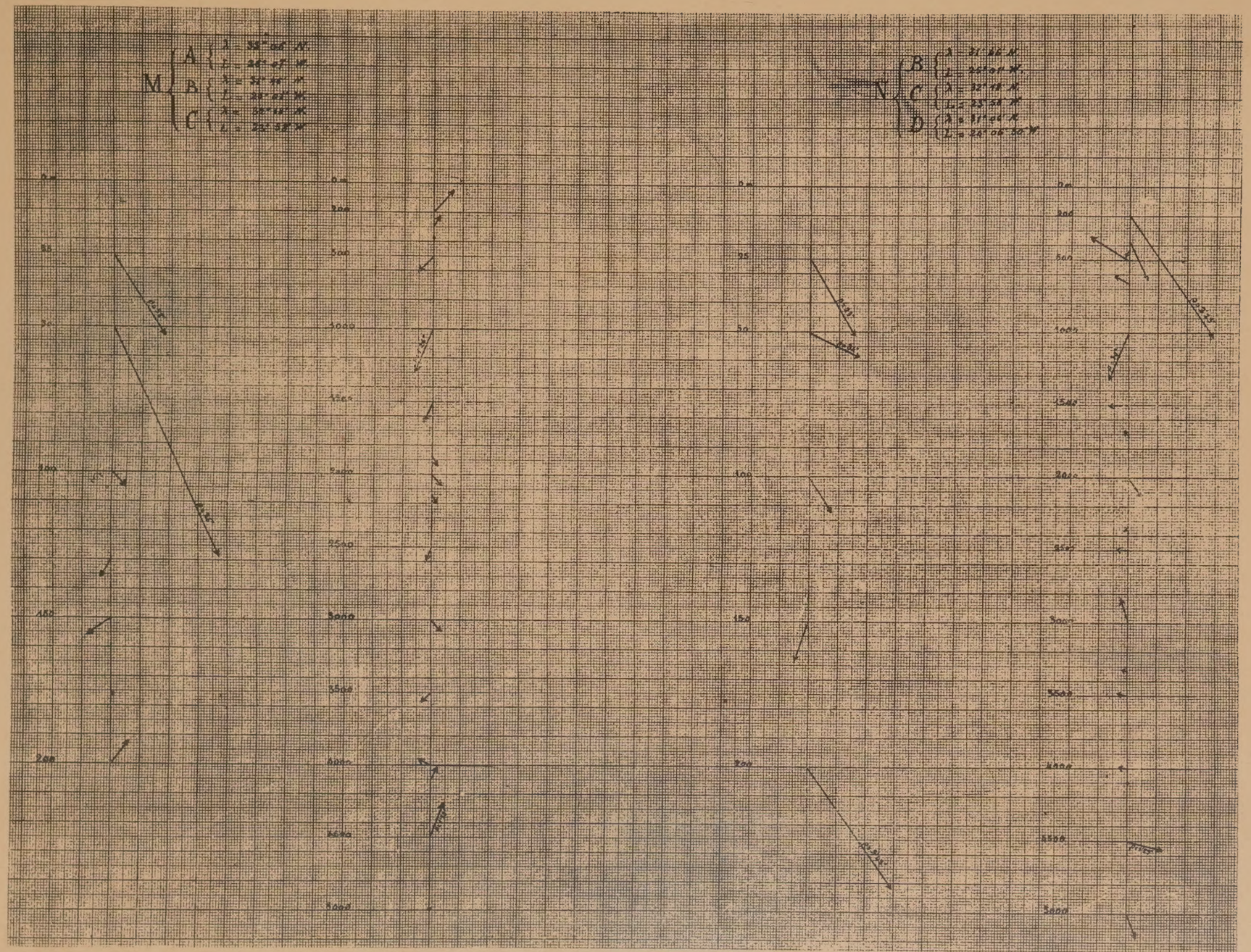


Courbes des S_t^θ


1.026
1.025
Maximum de courant
Minimum de courant
Maximum de courant
Minimum de courant
Courant nul
Maximum de courant



A.D.I A., IMP., NICE.



A.D.I.A., IMP., NICE.